UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Escuela de Ingeniería Ambiental

"Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Luis Miguel Guachún Villalta

CI. 0105180137

Director:

Ing. Milton Francisco Barragán Landy, Mg.

CI. 0201858719

Asesor:

Ing. Luis Gerardo González Morales, Phd.
CI. 1729711059

Cuenca – Ecuador

Mayo 2018

Resumen

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la factibilidad de un sistema de generación de energía renovable, aplicado a un sistema de telecomunicaciones en una comunidad del Cantón Paute, en donde no se cuenta con el servicio público de electricidad.

Se realizaron inspecciones en el sitio y revisiones bibliográficas, para definir el recurso energético más conveniente. Así, se dimensionó un sistema fotovoltaico, considerando el requerimiento energético. Se realizaron simulaciones con ayuda de dos herramientas computacionales: el software SAM2017 que calculó el rendimiento del sistema, y Simulink que simuló el sistema fotovoltaico añadiendo un banco de baterías; así se evaluó el apartado técnico, dando resultados favorables de abastecimiento energético sin poner en riesgo la vida útil de las baterías.

El proyecto resultó beneficioso económicamente según los indicadores financieros usados, pues los valores del VAN y TIR fueron $49,394.22 , 11.17% respectivamente. Similarmente al comparar entre el sistema fotovoltaico y la red pública se determinó que sobre los 1050 metros de extensión de red eléctrica resulta más conveniente instalar el sistema fotovoltaico.

Los resultados de la evaluación social y ambiental también fueron beneficiosos, puesto que el proyecto no generará mayores impactos adversos, al contrario se darán impactos positivos sobre todo en el ámbito socio-cultural, lo propio se pudo constatar al analizar las encuestas realizadas a los moradores que en general apoyan la utilización de energías renovables para éste fin productivo. Finalmente en base a todos los resultados anteriores se puede considerar al proyecto como factible en las condiciones descritas a lo largo del documento.

Palabras clave.

Estudio de factibilidad, Energía renovable, Sistema fotovoltaico, Red de suministro público de electricidad

Abstract.

The present study was conducted in order to assess the technical and economic feasibility of a renewable energy generation scheme applied to a telecommunication system located at the outskirts of the city of Paute where there is no access to the public electrical grid.

Reconnaissance of the site and literature review were conducted to define the most suitable energy source for the system. Solar energy was a promising candidate; therefore, a photovoltaic scheme was dimensioned according to the system requirements. For the design, numerical simulations were done with the help of computational tools: SAM2017 to evaluate the system performance and Simulink to analyse the effect of adding a battery bank to the photovoltaic system. These technical evaluations showed favourable results in terms of energy supply and life span of the batteries.

Furthermore, the project resulted economically feasible as the values obtained for the economic- financial indicators VAN and TIR were 49,394.22 UDS and 11.17% respectively. Additionally, in terms of least cost analysis, the current solution also results more convenient compared to a direct connection to the grid through a cable length of 1050 m.

Results from the social and environmental assessment were also beneficial as the project will not produce major adverse impacts; on the contrary, positive socio-cultural impacts will take place. This fact was evidenced by surveys conducted in the community where most of the people showed a positive attitude towards the use of renewable energy sources for productive activities. Overall, based on the results described above, the project can be considered feasible upon the conditions stablished in the report.

Keywords.

Feasibility study， renewable energy, photovoltaic system, Public electricity supply network.

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ANEXOS

Cláusula de propiedad Intelectual

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Luis Miguel Guachún Villalta, autor del trabajo de titulación "Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de mayo de 2018

Luis Miguel Guachún Villalta

C.I: 010518013-7

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Luis Miguel Guachún Villalta, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de mayo de 2018

Luis Miguel Guachún Villalta

C.I: 0105180137

Agradecimiento

A mi Dios, por guiarme siempre y en todo momento, por poner en mi las ganas y la voluntad para alcanzar esta y cada una de mis metas.

A mis padres Miguel y Rocío, quienes me han apoyado enormemente y jamás me dieron la espalda, supieron ser el pilar fundamental y el motor que me impulsa para alcanzar mis ideales como persona y como profesional.

A mis hermanos Melissa, Andrés y Cori, por estar ahí siempre y por tenerme mucha paciencia sobre todo.

A mi enamorada Pao, que estuvo apoyándome incondicionalmente durante toda la elaboración de este proyecto, gracias enormes por estar a mi lado en las buenas y en las malas, por la paciencia y por siempre creer en mí.

A todos mis tíos en general y especialmente a Pedro, Alejandro, Oswaldo quienes con sus conocimientos me supieron sacar de muchas dudas a lo largo de mi vida estudiantil y en la elaboración del presente trabajo.

A mi tío Javito, que partió de este mundo hace un par de meses, mi agradecimiento eterno al ser el mejor ejemplo de perseverancia y responsabilidad, y a pesar de sus ocupaciones jamás se negó a instruirme en lo que necesitase.

Agradezco al Ing. Milton F. Barragán Landy, tutor del trabajo de titulación, quien muy amablemente desde un inicio supo dirigir este proyecto muy responsablemente.

Un agradecimiento al Ing. Luis G. Gonzáles, acesor del trabajo de titulación, por las ideas aportadas y por compartir sus grandes conocimientos para llevar de la mejor manera el presente trabajo de titulación.

A mis primos y demás familiares y a mis amigos, en especial a Mauricio, Juan, Salomé, Mely, Vicky y Gaby.

Luis Guachún Villalta

Dedicatoria

A mi tío Javito, que en paz descanse, se lo dedico especialmente por haber sido un excelente amigo, por los buenos recuerdos que jamás se irán y por sus incontables enseñanzas. Se que desde el Cielo estará contento de verme culminar esta meta y todas las que están por venir.

A mis queridos padres quienes se han sacrificado toda la vida por darme lo mejor a mis hermanos y a mí, a mi madre por su bondad y comprensión, por enseñarme a ser una mejor persona y a apreciar lo más valioso de esta vida, a mi padre por su ejemplo de trabajo y responsabilidad, y que con su carácter supo formarme como persona junto con mi madre.

A mis abuelitos Jaime, Amelia, Alejandro y Mercedes, quienes con el único cariño que solo ellos me pueden dar me apoyaron y alentaron para culminar esta meta, y por estar siempre pendientes de mi.

A mis hermanos, ya que yo al ser el mayor, tengo la gran responsabilidad de brindarles el mejor ejemplo, mi dedicatoria especial para ellos.

Luis Guachún Villalta

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

La utilización de energías renovables hoy en día es algo muy conocido para todos, dentro de muchos sectores productivos y en distintos países se analiza la posibilidad de incrementar su uso para así hacer frente al problema de la contaminación del medio ambiente y cambiar la matriz energética con miras hacia un desarrollo sostenible.

En la actualidad la utilización precaria de energías renovables es un problema que debe ser tomado en cuenta, pues la preferencia y el uso de fuentes convencionales de energía en el sector productivo causan graves afecciones al medio ambiente.

El presente proyecto trata de fomentar la utilización de fuentes de energía renovable en el sector productivo, la idea de implementar un sistema de energía de éste tipo en un Nodo de Servicio de Telecomunicaciones se basa en contribuir al desarrollo sostenible desde el punto de vista económico, ambiental y social y se justifica como una buena opción de generación de energía para proyectos de electrificación, de una manera amigable con el medio ambiente y aprovechando los recursos de una manera limpia y perdurables en el tiempo.

En la sociedad actual, el medio ambiente es considerado como sujeto de derechos por lo que cada vez se busca implementar en la producción, tecnologías que cuiden su integridad y la de todos los seres que los habitamos.

El objetivo principal que se plantea en el presente estudio es la implementación de un sistema de generación de energía renovable, aplicado a un sistema de telecomunicaciones, el cual para su ejecución se descompone en varios objetivos específicos que corresponden principalmente a la recolección de datos energéticos, a la selección del sistema óptimo y su dimensionamiento, y a los estudios técnico, económico, ambiental y social que permiten determinar la factibilidad del proyecto.

Para cumplir con los objetivos se desarrollaron a lo largo del trabajo, distintas metodologías, en primera instancia se recolectaron los datos de las posibles fuentes energéticas del sector de implementación del proyecto, para esto se realizó una inspección del sitio para determinar si existen las condiciones favorables, además se hizo una revisión bibliográfica representativa del sector, luego se definió el tipo de sistema a utilizar acorde a los recursos energéticos existentes y a la demanda y posteriormente se trabajó en el dimensionamiento del sistema con ayuda de herramientas computacionales.

Para las actividades de dimensionamiento se utilizaron además de los datos de recursos energéticos disponibles, la información necesaria de todos los equipos que aportan para el funcionamiento del Nodo de Servicio de Telecomunicaciones para los respectivos cálculos energéticos.

Para la evaluación económica se utilizaron indicadores financieros como la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio costo (Rb/c), que aportaron la información necesaria para determinar si económicamente el proyecto es rentable. Además se realizó un análisis comparativo entre la instalación de un sistema de energía fotovoltaica y la implementación de la red de servicio público de electricidad, ambos capaces de suministrar la energía necesaria para el nodo de telecomunicaciones.

Para la evaluación técnica del proyecto, se usaron dos herramientas computacionales: System advisor Model o SAM 2017, por medio de la cual se calculó el rendimiento del sistema dimensionado y además mediante este software se obtuvieron datos de insolación global horizontal de la zona de estudio al introducir sus coordenadas; la otra herramienta usada fue Simulink, que es un complemento de Matlab, la cual fue usada para simular todo el sistema de generación de energía conjuntamente con el banco de baterías.

Además para complementar el estudio de factibilidad se tomó en cuenta los aspectos ambientales, con herramientas como la Matriz de Leopold, analizando cada actividad relacionada con el proyecto que pudiese ocasionar impactos en cualquiera de los compartimentos ambientales. Así mismo se los aspectos sociales fueron considerados por medio de encuestas a quienes se relacionan directa o indirectamente con el área de influencia geográfica y beneficiarios del proyecto.

1.2 PROBLEMÁTICA

La escaza utilización de fuentes de energía limpia o amigable con el medio ambiente se puede considerar un importante problema en la actualidad, ya que todas las actividades productivas requieren de un suministro de energía, la misma que en su mayoría es dotada por fuentes de energía no renovables que causan severos daños a la naturaleza y al ser humano.

En la actualidad se vive una realidad que involucra la utilización a grandes escalas de fuentes de energías no renovables, lo cual llega a ser un problema si se habla de desarrollo sostenible y además se sabe que con la utilización de estas se originan graves problemas ambientales. Por otra parte la utilización de energías limpias y renovables también es una realidad y quizá ahora aunque suene familiar no es la

primera opción para suministrar energía, sino más bien se utiliza en muy pocos nichos productivos.

Varios problemas ambientales son evidentes en la actualidad por la utilización de energías no renovables, la contaminación del aire, agua y suelo, la pérdida de biodiversidad son algunos de los problemas a los que nos enfrentamos.

En nuestro medio es evidente que existe un problema y que a futuro se verá aún más afectado pudiendo llegar a agravar las consecuencias antes nombradas. El problema de la utilización limitada de energías limpias para fines productivos existe hoy en día en muchos países inclusive cuando estos cuentan con características y recursos adecuados para explotarlas. Entre las causas más representativas, es muy común la preferencia de las personas e industrias con respecto al uso de energías convencionales, ya que sigue existiendo cierta resistencia al cambio hacia nuevas y mejores formas de generar energía, que por comodidad son muy demandadas en todos los nichos productivos; otro factor que impide la utilización de energías limpias en nuestro entorno es el desconocimiento total o parcial de los beneficios y desventajas que éstas pueden ofrecer.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de energía renovable, son una buena alternativa para los proyectos de electrificación para pequeñas comunidades o proyectos de otro tipo; inclusive en algunos países desarrollados o en vías de desarrollo ya se habla de producción energética renovable a gran escala, sobre todo las del tipo solar fotovoltaica y eólica.

El presente proyecto pretende implementar un sistema energético renovable, con el fin de generar el potencial eléctrico necesario para abastecer a un nodo de servicio de telecomunicaciones, involucrando de esta manera una forma responsable con el medio ambiente de llevar a cabo un proyecto de electrificación, además profundizar su estudio de factibilidad y demostrar los posibles beneficios o desventajas tanto ambientales como económicas que representan los proyectos de energías limpias.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Evaluar la factibilidad de la implementación de un sistema de generación de energía renovable, aplicado a un sistema de telecomunicaciones.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Recolectar datos y analizar la disponibilidad de recursos energéticos en el Sector “Rodeo” de la Parroquia Tomebamba perteneciente al Cantón Paute.
- Seleccionar y Dimensionar el Sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, en función a la disponibilidad de recursos.
- Evaluar la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la implementación del Proyecto.
- Realizar un estudio técnico económico comparativo entre el servicio eléctrico público y el sistema de generación de energía renovable aislado.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 La energía

Según (Alomá, 2007) y (Pacca & Henrique, 2004), la energía es algo que los cuerpos poseen y que les permite realizar algún tipo de trabajo o actividad; así los cuerpos que se mueven tienen energía; la energía tiene una existencia casi de forma material y puede almacenarse dentro de los objetos, como por ejemplo la energía que está almacenada dentro de los alimentos que digerimos, la gasolina que hace funcionar a los vehículos o el carbón que al arder libera la energía contenida; la diferencia entre cada una está en la manera de manifestarse en la naturaleza y de transformarse.

2.2 Energía y Medio Ambiente.

La generación, transporte y consumo de energías convencionales al igual que toda actividad antrópica genera un impacto sobre el medio ambiente, pudiendo ser éstas las causantes de los más graves problemas ambientales que sufre el planeta hoy en día; por otra parte si bien es cierto que en las energías renovables también existen efectos adversos, estos son infinitamente menores y siempre reversibles. (Merino, 2012)

La emisión de contaminantes provenientes del aprovechamiento energético por fuentes de origen no renovable se ha reducido gracias al desarrollo de combustibles más limpios y al tratamiento de gases de combustión; pero mientras no disminuya el protagonismo de los combustibles fósiles en la demanda energética, los efectos adversos como el efecto invernadero y el cambio climático seguirán presentes y en aumento. (Merino, 2012)

2.3 Clasificación de las fuentes energía.

Según el criterio de (Gonzáles G., 2011), las fuentes de energía se pueden clasificar de una manera clara de la siguiente manera:

Tabla 1 Clasificación de las energías.

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Disponibilidad en la naturaleza y capacidad de regeneración	**Renovables**	Abundantes en la naturaleza e inagotables
	No renovables	Abundantes o no, pero se agotan al utilizarlas y no se regeneran a corto plazo sino que necesitan de millones de años para hacerlo. Son las más usadas en la actualidad.
Uso en cada país	**Convencionales**	Son las más utilizadas en países industrializados, como los combustibles fósiles; además son importantes en la economía de estos países.

	No convencionales (Alternativas)	Su desarrollo tecnológico está empezando con fuerza sin embargo se siguen considerando fuentes alternativas de energía.
Acorde a su impacto ambiental	**Limpias**	Fuentes cuya obtención produce un impacto ambiental mínimo o nulo; no generan subproductos tóxicos o contaminantes.
	Contaminantes	Fuentes que producen efectos perjudiciales en el medio ambiente, por su forma de obtención, por su forma de uso, y por los subproductos altamente contaminantes que generan.

Fuente: (Gonzáles G., 2011)
Elaboración: Autor

Adicionalmente, se ha establecido que todas las fuentes de energía tienen un solo origen, ya que todas provienen de la energía aportada por el sol ya sea directa o indirectamente (Roldán & Viloria, 2008). En la figura 1 se puede apreciar el origen de las energías:

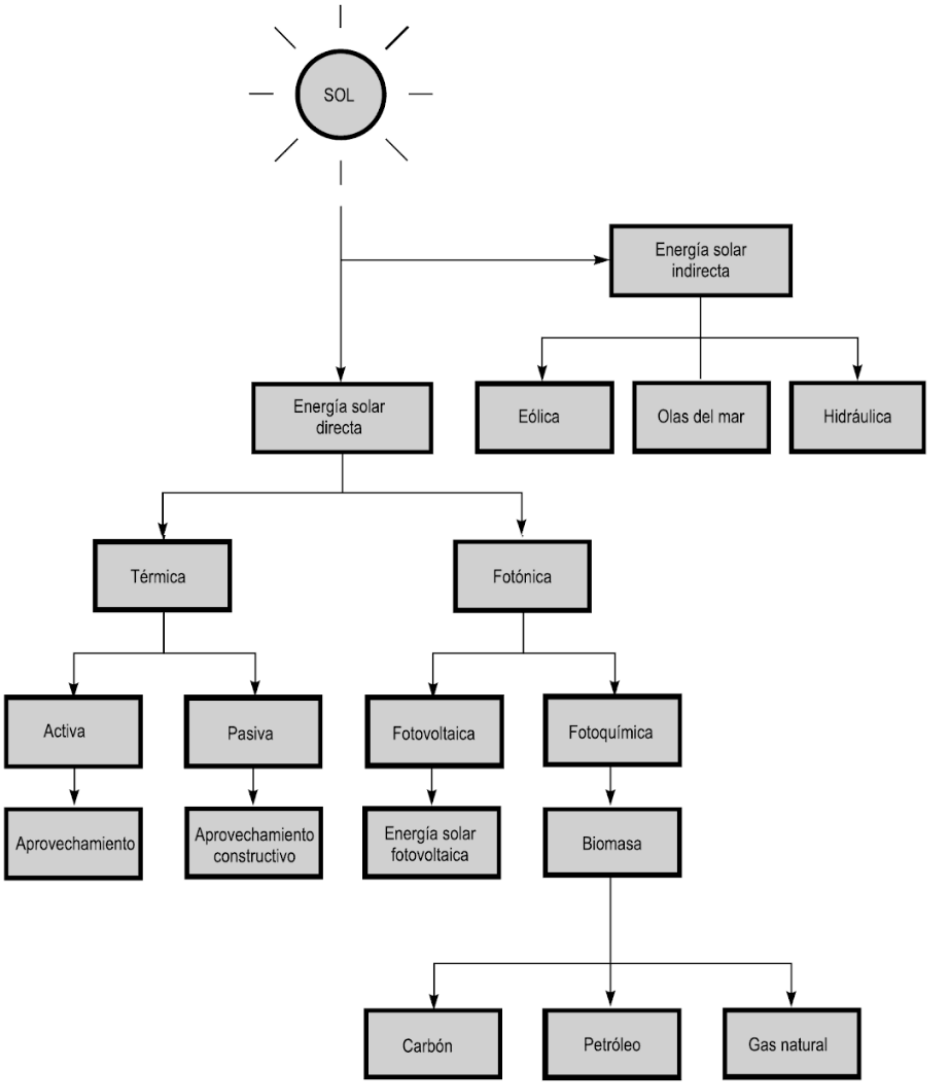


Figura 1 Origen de las energías
Fuente: (Roldán & Viloria, 2008).

2.4 Energía no renovable y cambio climático.

La gran demanda energética, con miras al desarrollo económico, social y de bienestar de las personas va en aumento. Todos necesitamos de servicios energéticos para satisfacer nuestras necesidades básicas, como por ejemplo, el alumbrado, la movilidad, la comunicación, y también los procesos productivos. (Labandeira, Linares, & Würzburg, 2011). Desde la revolución industrial, la utilización de fuentes de energía no renovable, principalmente de combustibles fósiles como el carbón mineral, petróleo y gas ha aumentado hasta convertirse en el suministro de energía predominante en el mundo, sin embargo dicha situación ha hecho que exista un acelerado incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Edenhofer, Pichs-Madruga, & Sokona, 2011)

La prestación de servicios energéticos provenientes de fuentes de energía no renovables, ha contribuido considerablemente al aumento de las concentraciones de estos gases en la atmósfera. En el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático se concluyó que “la mayor parte del aumento observado en el promedio de temperaturas desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado en las concentraciones de GEI antropogénicas". (Edenhofer et al., 2011)

2.5 Energías renovables.

Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala de consumo humano, aunque es debido resaltar que para fuentes como la biomasa, funciona de la misma manera siempre y cuando se respeten los ciclos naturales.

El sol es la más importante fuente de energía renovable y sin él no existieran muchas de las otras formas de energía que conocemos. El sol equilibra el ciclo del agua que es utilizada para generación hidroeléctrica, además es el causante de las diferencias de presión de la atmósfera que da lugar a los vientos que mueven los generadores eólicos, así mismo las plantas que son usadas como biomasa se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer; y por último del sol se aprovechan directamente en las energías solares, tanto para la térmica como la fotovoltaica. (Merino, 2012)

2.6 Tecnologías y mercados de la energía renovable

El concepto de energía renovable abarca categorías heterogéneas de tecnologías. Algunos tipos de energía renovable permiten suministrar electricidad, energía térmica y mecánica, y producir combustibles capaces de cubrir las múltiples necesidades de los servicios energéticos.

Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo en medios rurales y urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño. Aunque es cada vez mayor el número de tecnologías de la energía renovable técnicamente avanzadas que han sido adoptadas en mediana escala, otras se encuentran en una fase menos evolucionada y su presencia comercial es más incipiente, o bien abastecen nichos del mercado especializados. (Edenhofer et al., 2011)

Las energías renovables brindan beneficios aparte de los de proveer energía, por ejemplo su aplicación masiva representa fuentes de empleo a lo largo de todo el ciclo de los productos y su utilización; propician un ambiente más limpio y seguro. La mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), así como naciones en desarrollo, han propuesto metas para dichas fuentes de energía entre sus planes energéticos. Muchos países además han fomentado el desarrollo de industrias locales de energías renovables, entrando en un nuevo mercado de tecnología energética. (Huacuz Villamar, 2008)

2.7 Principales fuentes de energía renovable

2.7.1 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar Fotovoltaica (FV) funciona bajo el principio físico del efecto fotoeléctrico el cual, al hacer incidir luz visible en un material semiconductor, se genera una absorción de fotones y desplazamiento de electrones en dicho material. Esto da lugar a la generación de un potencial eléctrico en los extremos de dicho material. (Castillo Meraz, Martínez Montejano, Delgado Aranda, & Campos Cantón, 2013)(Castillo Meraz et al., 2013)

Cada panel solar está construido a partir de pequeñas celdas de silicio generalmente, que generan un potencial eléctrico individual. Al colocar las celdas solares en arreglos serie y paralelo, se pueden obtener mayores voltajes y corrientes. El voltaje y la corriente producidos por un panel solar son directamente proporcionales al área de captación y a la irradiación incidente. (Castillo Meraz et al., 2013)

2.7.2 Energía solar térmica.

Este tipo de energía se la obtiene por medio de colectores solares, los mismos que están cubiertos por una cubierta transparente de vidrio y una placa absorbente, por donde se hace circular un fluido caloportador. Además cuenta con un sistema de aislamiento, protección y un acumulador. Un dato importante es que cada metro cuadrado de colector puede producir en ciertas partes del mundo anualmente una cantidad equivalente a unos 80 kg de petróleo. Entre las aplicaciones más comunes

son la generación de agua caliente para hogares, piscinas, hospitales, hoteles e industrias. (Santamarta, 2004)

2.7.3 Energía eólica.

La energía eólica explota la energía cinética del aire en movimiento para producir electricidad a partir de turbinas eólicas. (Borja Díaz, 2013)

El principio básico de funcionamiento es el siguiente: El viento hace girar las aspas de los generadores eólicos, produciendo una determinada velocidad angular en el rotor de las mismas, luego, dicho rotor gira a baja velocidad y lleva consigo una determinada potencia mecánica que es directamente proporcional a la velocidad de giro de las aspas. Dicha velocidad angular se multiplica mediante una serie de engranes y así, las velocidades angulares resultantes son del orden de 1500 a 3000 RPM (revoluciones por minuto), luego esta potencia mecánica es transformada en potencia eléctrica mediante un generador eléctrico, finalmente como sistema de emergencia se dispone de un freno mecánico que detiene la velocidad de rotación de los ejes de baja y alta velocidad en caso de ser necesario. (Castillo Meraz et al., 2013)

Algunas tecnologías de energía eólica en tierra están siendo ya comercializadas y adoptadas en gran escala. La energía eólica es, en cierta medida variable e impredecible, pero la experiencia y ciertos estudios detallados en numerosas regiones indican que la integración de la energía eólica no suele tropezar con obstáculos técnicos insuperables. (Edenhofer et al., 2011)

2.7.4 Energía Geotérmica.

A diferencia de otros tipos de energía renovable, que aprovechan directa o indirectamente se originan a partir del sol, la energía geotérmica proviene del calor interno del planeta que se genera por la desintegración de isótopos radiactivos, de movimientos diferenciales entre las capas de constituyen la Tierra y del calor latente de cristalización del núcleo externo. Esta fuente energética se encuentra en volcanes, aguas termales, fumarolas, géiseres, entre otros. (Muñoz & Silva, 2014)

Normalmente se necesita de un fluido, el más común el agua, para que permita transportar el calor desde la profundidad a la superficie terrestre para su aprovechamiento y según su contenido en calor se definirá el uso, ya sea para generación de electricidad o para calefacción. (Muñoz & Silva, 2014)

2.7.5 Energía de la Biomasa.

La biomasa es la materia orgánica tanto vegetal como animal que se utiliza con fines energéticos. Entre las fuentes de mayor uso se tiene la leña, bagazo, residuos animales, vegetales, urbanos, y aceites vegetales. Normalmente este tipo de energía es usada para producción de calor en viviendas principalmente en cocinas y hornos,

en el caso particular de algunas plantas oleaginosas, como plantas de aceite, se obtienen productos que se pueden transformar en biocombustible con el fin de ser usado en automotores. También surge interés en los cultivos, de los que se puede producir bioetanol, con el mismo fin que los biocombustibles. (Muñoz & Silva, 2014)

2.7.6 Energía Hídrica.

Es la energía contenida en un caudal hídrico, es bastante conocida y se considera que suministra cerca del 20% de la electricidad mundial. Las centrales hidroeléctricas son las encargadas de convertir la energía contenida en energía eléctrica. En los países de América Latina, esta fuente sigue siendo la de mayor peso, con el 58.8% de toda la región. Se estima además que la energía hidráulica aporta el 92% de la electricidad derivada de fuentes renovables. (Muñoz & Silva, 2014)

Al momento de pensar en este tipo de energía renovable, es muy importante evaluar el impacto ambiental que genera la construcción de una represa. Pues se generan cambios que afectan a la población aledaña al río que ve represar; en los terrenos cultivables, en los bosques, en los humedales, y la fauna y flora que habita la región. (Romero & Toledo, 2009)

2.8 Sistemas híbridos de energías renovables

Estos sistemas se denominan “híbridos” porque pueden generar energía eléctrica a partir de dos o más fuentes de energía renovable simultáneamente y dan más confiabilidad al proyecto que se ejecute ya que se complementa el trabajo de una manera eficaz si se lo hace de manera correcta; por ejemplo, fotovoltaica-eólica, fotovoltaica-celdas de combustible, eólica-térmica entre otras. (Castillo Meraz et al., 2013)

Los sistemas híbridos se componen de varias partes fundamentales como son:

- Al menos 2 tipos distintos de energía renovable
- Fase de control de carga
- Banco de baterías
- Inversor Corriente Directa-Corriente Alterna.

2.9 Integración de las energías renovables en los sistemas de energía actuales.

Hoy en día ya existe un número considerable de tipos de recursos de la energía renovable que están siendo integrados satisfactoriamente en los sistemas de suministro de energía y en los sectores de uso final.

Las características de diferentes fuentes de energía renovables pueden influir en la escala del desafío de la integración. Algunos recursos de la energía renovable se hallan ampliamente distribuidos en términos geográficos. Otros, como los de la energía

hidroeléctrica en gran escala, pueden estar más centralizados, aunque conllevan opciones de integración limitadas por la ubicación geográfica. (Edenhofer et al., 2011)

Ciertos recursos de la energía renovable son variables y tienen una predictibilidad limitada. En algunos casos, presentan densidades de energía física menores y diferentes especificaciones técnicas a las de los combustibles de origen fósil. Tales características pueden limitar la facilidad de integración y traer aparejados costos sistémicos adicionales, particularmente cuando se alcanzan elevados índices de penetración de las energías renovables. En la mayoría de los casos, la integración acelerada de la energía renovable en los sistemas del suministro de energía y los sectores de uso final es tecnológicamente factible, aunque acarreará problemas adicionales. Se espera conseguir mayores índices de penetración de la energía renovable, adoptando una amplia gama de tecnologías de bajos niveles de emisión de GEI, tanto con fines de electricidad como de calefacción, refrigeración o combustión, incluida la integración directa en los sectores de uso final. Los problemas que plantea la integración de las energías renovables son contextuales y específicos para cada ubicación, y obligan a introducir ajustes en los sistemas actuales del suministro de energía. (Edenhofer et al., 2011)

Es necesario además priorizar el desarrollo tecnológico y transferencias acordes a las necesidades y demandas reales. Una fuerte limitación a la incorporación de energías renovables en el escenario territorial suele ser el camino paralelo entre investigación y urgencias sociales. Aquí deben considerarse cuestiones técnicas referidas a: adaptación, fiabilidad, calidad y vida útil de tecnologías renovables, reducción de costos, posibilidad de integración a sistemas de energía ya existentes. (Belmonte & Franco, 2009)

2.10 Radiacion solar

La radiación solar es el flujo de energía que llega a la superficie terrestre procedente del Sol, dicha energía llega en forma de ondas electromagnéticas de diversas frecuencias (ultravioleta, infrarroja, luz visible). Por otra parte, dependiendo de la manera en la que los objetos que están en la superficie terrestre reciben la radiación solar se pueden diferenciar los diferentes tipos de radiación que se conocen, la: directa, difusa, reflejada y global. (Castells & Bordas, 2012)

En cualquier sistema de conversión de energía solar, el conocimiento de la radiación solar es estrictamente importante para el diseño óptimo y la previsión del rendimiento del sistema a implementarse. La naturaleza aleatoria e impredecible de la fuente de energía impone estudiar la variación de la fuente solar antes de cualquier estudio de instalación del sistema solar. (Notton, 2017)

2.10.1 Radiación Solar Directa.

Este tipo de insolación, como su nombre lo dice proviene directamente del sol; este tipo de radiación solar es la que recibimos cuando los rayos solares no se difuminan o dispersan en la atmósfera terrestre ya que no la presencia de cuerpos o fenómenos que puedan modificar su trayectoria es mínima o nula. (INER, 2014)

2.10.2 Radiación Solar Difusa.

Llamada también insolación difusa, esta tiene la característica que proviene como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera, por lo que se considera que no llega directamente desde el sol. (FCFM, 2016)

Esta energía puede representar aproximadamente un 15% de la insolación en días soleados, pero en días nublados como la dispersión de la radiación es mayor, este porcentaje puede ser considerablemente más grande. (INER, 2014)

2.10.3 Radiación solar reflejada o de albedo.

Es la radiación incidente en una superficie que está llegando al ser reflejada por el suelo. La cantidad reflejada depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben este tipo de radiación ya que no ven superficie terrestre, por otra parte las superficies verticales son las que más reciben este tipo de radiación. (Chiriboga & Mondragón, 2011)

2.10.4 Radiación Global.

Este tipo de radiación es el resultado de la suma de la insolación difusa, la insolación directa y la insolación reflejada o de albedo. Es la medición más común de la radiación solar y se la realiza con un instrumento llamado piranómetro. (INER, 2014)

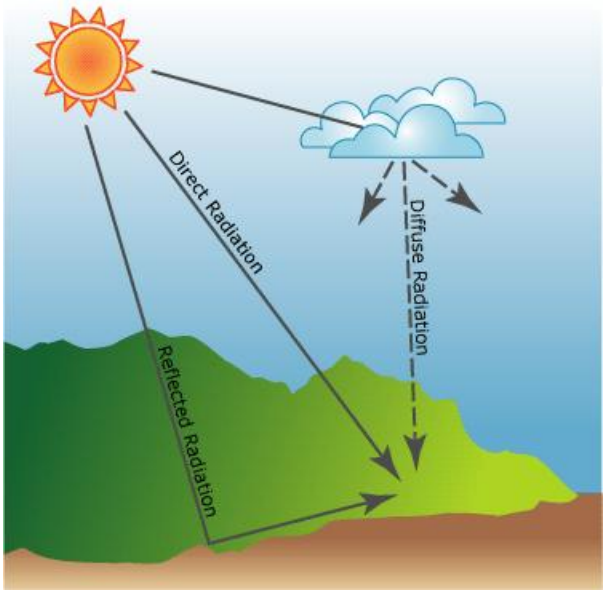


Figura 2 Radiación solar Global: directa, difusa y reflejada.
Fuente: (ESRI, 207)

2.11 Radiación solar en Ecuador

El sol es uno de los mejores recursos para garantizar la seguridad energética, pues hay suficiente en la Tierra para cubrir todas las necesidades energéticas del planeta. El Ecuador tiene elevados niveles de radiación solar, sin embargo su utilización para cubrir la demanda energética es todavía mínima, a comparación con las dos fuentes energéticas de mayor uso en el país: el petróleo y la hidroelectricidad. (INER, 2014)

Por su ubicación en la mitad del mundo, el Ecuador tiene un enorme potencial de aprovechamiento de energía solar; sin embargo es necesario cuantificar este recurso antes de proponer proyectos de este tipo. Así, en la actualidad el Ecuador cuenta con el atlas solar elaborado por el CONELEC que está basado en imágenes satelitales cuyos datos no han sido todavía validados en gran parte del país con mediciones en campo; sin embargo esta herramienta sirve para tener una primera visión de posibles lugares en los que se pueda instalar un generador o un sistema de generación fotovoltaica. (INER, 2014)

2.12 Generación fotovoltaica.

Los paneles solares son los elementos principales en un sistema de generación fotovoltaica. El principio básico de funcionamiento que tienen los paneles solares es transformar la energía que tiene la luz del sol (fotones) en energía eléctrica. De esta manera se obtiene corriente continua, que puede ser utilizada directamente, almacenarse en sistemas de baterías o transformarse en corriente alterna por medio de inversores de corriente. (Roldán & Viloria, 2008) Un esquema básico de una instalación fotovoltaica consta de: paneles o módulos fotovoltaicos, regulador de carga, acumulador eléctrico o baterías, inversor de carga, otros complementos.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser instaladas de manera individual o aislada de la red eléctrica convencional o también con conexión a redes de baja tensión. (Roldán & Viloria, 2008)

2.12.1 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

Como su nombre lo indica, necesitan de la conexión a una red eléctrica para realizar bien su función generadora de electricidad, no necesitan de sistemas de almacenamiento de energía por lo que los costos no abarcan la adquisición de las baterías. Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica convencional está constituida por un conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor que convierta la corriente continua en corriente alterna para inyectarla en la misma frecuencia y tensión en la red eléctrica. Este tipo de instalaciones requieren de un mantenimiento mínimo, que consiste básicamente en la limpieza periódica de los módulos solares, y en el control de las conexiones eléctricas y del inversor. (Beltrán, 2014)

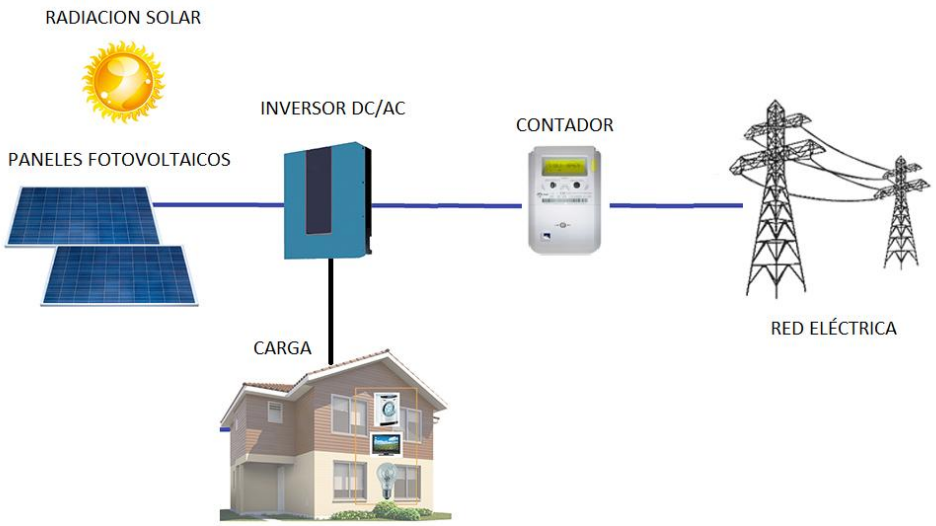


Figura 3 Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica de servicio público.
Fuente: (Bester, 2016)
Elaboración: Autor.

2.12.2 Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red.

Este tipo de sistemas hacen posible la electrificación de manera autónoma, es preciso utilizar estas instalaciones en lugares donde no llega la red eléctrica o en lugares que el conectarse a la red de distribución eléctricas no es viable ya se técnica o económicamente. Por lo general sus aplicaciones son dentro del sector doméstico, en instalaciones agrícolas o ganaderas, entre otras. Para el diseño de este tipo de instalaciones se requiere conocer el consumo de energía o que es lo mismo la carga que se desea suministrar, además es importante determinar el rendimiento energético de la instalación, calcular el generador mínimo capaz de suministrar la energía suficiente, la capacidad de almacenamiento en función al tiempo de autonomía del sistema. (Beltrán, 2014)

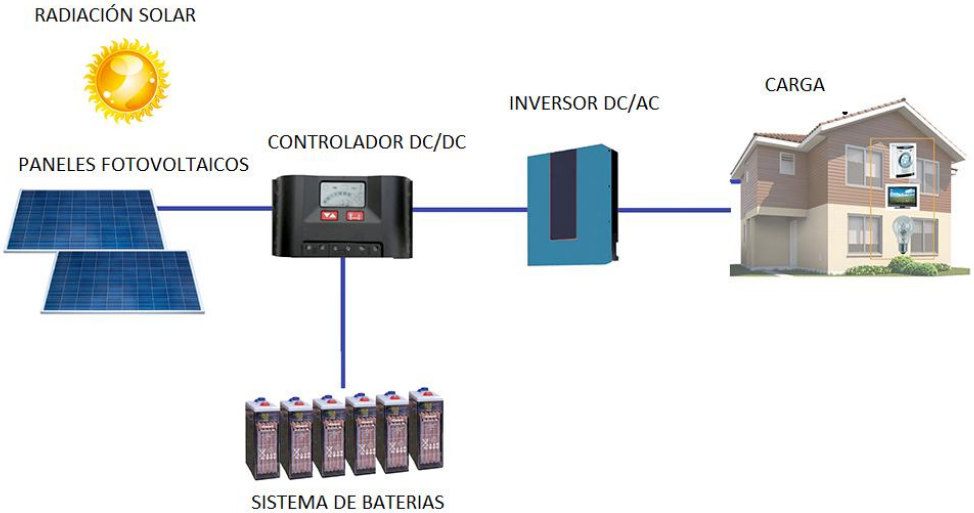


Figura 4 Instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica de servicio público.
Fuente: (Bester 2016)
Elaboración: Autor

2.13 Panel fotovoltaico.

Las células solares o células fotovoltaicas más usadas son las que están constituidos a base de cristales de silicio, se clasifican en tres tipos los mismos que en la literatura de (Roldán & Viloria, 2008), varían en cuanto a su eficiencia, rendimiento y precio:

2.13.1 Panel monocristalino de silicio (eficiencia del 12-16%)

Presenta una estructura cristalina perfectamente ordenada. Se los reconoce por su monocromía oscura zulada y metálica. (Pareja Aparicio, 2010)

Las celdas que conforman este tipo de panel se obtienen a partir de barras largas cilíndricas, las cuales se cortan en forma de obleas de 0.5 mm de espesor, para ser usados luego en la fabricación de circuitos integrados. (Beltrán, 2014)

2.13.2 Panel policristalino de silicio (eficiencia del 10-12%).-

La estructura que presenta es ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares representan disminución de rendimiento. Se los reconoce por su superficie de distintos tonos azulados y grises metálicos. (Pareja Aparicio, 2010)

Las celdas que incluyen los paneles solares policristalinos son obtenidas al fundir el material semiconductor, en moldes rectangulares, su estructura cristalina no es uniforme. Las celdas fotovoltaicas policristalinas son más baratas, sin embargo su eficiencia es menor que la de las celdas monocristalinas; adicionalmente otra forma de reconocerlos es por su forma cuadrada, de modo que cubra mayor área del panel. (Beltrán, 2014)

2.13.3 Panel amorfo de silicio (eficiencia del 6-8%).-

Normalmente son utilizados en pequeños paneles solares, como los que contienen algunas calculadoras, relojes, lámparas, auque su uso en aplicaciones de mayor tamaño está creciendo en los últimos años. Las celdas que conforman este tipo de panel se obtienen al depositar una película delgada de silicio sobre una hoja de otro material como el acero. (Beltrán, 2014)

De esta manera dependiendo cual sea la finalidad para un panel solar se debe escoger el más apropiado, a continuación se muestran en la tabla 2, algunas ventajas y desventajas que tienen los distintos tipos de paneles solares a base de silicio:

Tabla 2 Ventajas y desventajas de los paneles solares más comunes.

Tipo de panel solar	Monocristalino	Policristalino	Amorfo
Ventajas	Buen rendimiento Muy buena relación W/m2 Número de fabricantes elevado	Paneles solares que permiten un mejor uso del módulo. Buena relación W/m2.	Funciona con radiación difusa muy baja (días nublados). Menores costos. Integración más versátil.
Desventajas	Costo más elevado	Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja	Bajos rendimientos a comparación con los de otro tipo. Rendimiento decrece con el tiempo

Fuente: (Beltrán, 2014)
Elaboración: Autor

La vida útil de un panel a base de silicio es por lo general de 30 años y dependiendo la calidad del panel solar, se alcanzan mayores o menores porcentajes de eficiencia, pero por lo general se considera que tienen una eficiencia media del 12% lo que representa una cantidad de 120W/m^2 en buenas condiciones de radiación. Sin embargo este valor puede variar y se pueden tener cantidades de energía que van desde los 100 W/m^2 en invierno y hasta los 250 W/m^2 en verano. (Roldán & Viloria, 2008)

2.14 Sistemas de telecomunicaciones.

Un sistema de telecomunicaciones está constituida de una estructura física por la cual se transporta la información desde la fuente hacia un destino, basado en esta infraestructura se pueden ofrecer a los usuarios los distintos tipos de servicios de telecomunicaciones. Se denomina “red de telecomunicaciones” a toda infraestructura que transporta la información. (Meza Badillo, 2002)

Un usuario o persona que se beneficia de algún servicio de telecomunicaciones puede acceder al mismo la persona utiliza un equipo terminal a través del que obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. El proceso de transferir información digital se llama comunicación de datos, por lo general sucede en forma binaria, entre dos o más puntos. Una red de comunicación de datos puede ser tan simple como dos computadoras conectadas por medio de una red pública o puede representar una red compleja de una o más computadoras centrales y cientos o miles de terminales remotas, computadoras personales y estaciones de trabajo. En la actualidad las redes de comunicación de datos se utilizan para enlazar casi todas las clases de equipos de cómputo digital. (Tomasi, 2003)

2.15 Software SAM

El software “System Advisor Model” del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL), es un modelo informático que permite entre sus variadas aplicaciones calcular el rendimiento y las medidas financieras de los sistemas de energía renovable. Muchos investigadores y desarrolladores de proyectos, legisladores, fabricantes de equipos, entre otros, usan gráficos y tablas resultantes de SAM en el proceso de evaluación financiera, tecnológica, y de incentivos para la implementación de proyectos de energía renovable. (NREL, 2014a)

SAM es una herramienta que simula el rendimiento y la capacidad financiera de los proyectos de energía solar fotovoltaica, la calefacción de agua por medio de colectores solares, la energía producida por turbinas eólicas, la energía geotérmica, la biomasa y también los sistemas de energía convencionales. (NREL, 2017)

NREL proporciona a la población en general de manera gratuita las versiones más actualizadas del software SAM, debiendo solamente proporcionar una dirección de correo electrónico válida para solicitar una clave de registro gratuita que la empresa envía automáticamente por correo, por lo tanto el softwares es de uso libre para cualquier organización o persona que desee.

2.15.1 Estructura del modelo.

SAM está constituido por tres interfaces principales:

- Interfaz de usuario.
- Motor de cálculo
- Interfaz de programación.

El primero, la interfaz de usuario es la parte de SAM que proporciona acceso a variables de entrada y controles de simulación, además muestra las respectivas tablas y gráficos de los resultados luego de una simulación. El motor de cálculo de SAM realiza una simulación paso a paso del rendimiento de un sistema de potencia, y un conjunto de cálculos financieros anuales para generar un flujo de efectivo de proyecto y medidas financieras. Finalmente, la interfaz de programación permite que los programas externos interactúen con SAM.

2.15.2 Opciones de Análisis de SAM

2.15.2.1 Modelos de rendimiento de SAM.

Estos hacen cálculos por hora de la producción eléctrica de un sistema de potencia, generando un conjunto de valores anuales reportados horariamente. Se puede explorar las características del rendimiento del sistema en detalle mediante la

visualización de tablas y gráficos de los datos de rendimiento por hora y mes. (NREL, 2014b)

SAM incluye modelos de rendimiento para las siguientes tecnologías:

- Sistemas fotovoltaicos (placa plana y concentración)
- Modelo de almacenamiento de batería para sistemas fotovoltaicos
- Canal parabólico que concentra la energía solar
- Torre de energía que concentra energía solar
- Linear Fresnel concentrando energía solar
- Dish-Stirling que concentra la energía solar
- Proceso del canal parabólico de calor y el vapor lineal directo
- Un simple "modelo genérico" para térmica convencional
- Calentamiento de agua solar para edificios residenciales o comerciales
- Energía eólica (grande y pequeña)
- Energía geotérmica y coproducción geotérmica
- Energía de biomasa

2.15.2.2 Modelos financieros de **SAM.**

El modelo financiero de SAM mide financieramente para varios tipos de proyectos de energía basados en los flujos de efectivo de un proyecto durante un período de análisis especificado. El modelo financiero usa la producción eléctrica del sistema calculada por el modelo de rendimiento para luego calcular la serie de flujos de efectivo anuales. (NREL, 2014a)

2.15.2.3 Otras opciones de análisis de SAM.

Además de simular el rendimiento de un sistema de energía durante un año y calcular el flujo de caja de un proyecto durante un período de varios años, las opciones de análisis de SAM permiten realizar estudios que implican múltiples simulaciones, vinculando entradas de SAM a un libro de trabajo de Microsoft Excel y trabajando con módulos de simulación. (NREL, 2014b)

Las siguientes opciones son para análisis que investigan los impactos de las variaciones y la incertidumbre en los supuestos sobre el clima, el rendimiento, el costo y los parámetros financieros en los resultados del modelo:

- Paramétrico: Aquí se asignan diversas variables de entrada para crear gráficos y tablas que muestren el valor de las medidas de salida para cada valor de la variable de entrada. Este análisis resulta útil para optimizar y explorar relaciones entre variables de entrada y resultados.
- Macros: Aquí se crean gráficos de tornado especificando un rango de valores para las variables de entrada como un porcentaje.

- Estocástico: Aquí se asignan múltiples valores a las variables de entrada utilizando parámetros para distribuciones estadísticas.
- P50 / P90: para ubicaciones con datos meteorológicos disponibles durante muchos años, aquí se calcula la probabilidad de que la producción anual total del sistema exceda un cierto valor.

2.15.3 Entrada de datos para SAM.

El Modelo SAM tiene la capacidad de leer las variables de entrada de las hojas de cálculo de Microsoft Excel, formato en el cual vienen en mayor parte los parámetros obtenidos de las instituciones como el INAMHI por medio de las mediciones hechas en las estaciones meteorológicas.

Además el software también cuenta con una opción en la cual se puede encontrar datos de recursos solares y datos meteorológicos para usarlos por medio de un archivo meteorológico de SAM que pudo haber sido desarrollado por medio de mediciones en el terreno, datos satelitales o una combinación de ambos. (NREL, 2014a)

2.15.4 Archivo meteorológico de SAM.

Esta herramienta es un archivo de texto que contiene la información de un año de datos que describen el comportamiento del recurso solar, la velocidad de los vientos, la temperatura y otras características climáticas en un determinado lugar; los datos pueden obtenerse por horas o por sub horas.

Al momento de buscar los datos del recurso solar y demás datos meteorológicos de un lugar en específico por medio del nombre de la Ciudad o al introducir las coordenadas UTM el programa busca automáticamente dentro de su biblioteca integrada una fuente que contenga la información de la región a la que pertenece, es decir el archivo meteorológico de la zona.

Para el caso de América del Sur, es importante decir que cuenta con la información de la “National Solar Radiation Database” (NSRDB 1998 – 2014) que además de ser una de las más completas, es la que está más actualizada. Esta fuente describe datos horarios de un año completo, desde el año 1998 hasta el 2014. (NREL, 2014a)

2.16 Software Simulink.

Simulink es una plataforma de Matlab, que permite la simulación y diseño basado en modelos de sistema dinámicos. Este programa consta de un entorno gráfico interactivo en el cual existen diversas opciones de herramientas en forma de bloques a escoger dentro de su librería personalizable, dependiendo cual sea la finalidad de la simulación deseada.

El programa permite diseñar, simular, implementar y probar una serie de sistemas con variación temporal, permite construir diagramas de bloque, gráficos, evaluar el rendimiento del sistema y mejorar los diseños**.** (MathWorks, 2013)

Existen distintas versiones de Matlab, así dependiendo para qué fines se desee se puede comprar el producto correctamente licenciado. Existe la versión Matlab Student (producto individual), que es solamente para propiedad del estudiante, para realizar trabajos de curso, investigaciones en instituciones que otorgan títulos. De igual manera existe otra versión del producto que está diseñado para su uso comercial, del gobierno u otros usos para organizaciones particulares. (MathWorks, s. f.)

2.16.1 Funcionamiento de Simulink

El programa tiene la capacidad de definir en forma lógica las diversas etapas del proceso de diseño de un sistema estableciendo un flujo de datos entre sí, los diagramas de bloques otorgan una buena descripción del sistema al mismo tiempo que pueden ser modificables con facilidad, todo esto con el objetico de alcanzar el comportamiento que se desee del sistema. (MathWorks, 2013)

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación y descripción del área de estudio.

El nodo de servicio de telecomunicaciones en el cual se realizó el estudio de factibilidad del proyecto de electrificación, está localizado en el sector de Rodeo de la parroquia Tomebamba, en el cantón Paute perteneciente a la provincia del Azuay.

Dicho sector forma parte de las parroquias rurales del cantón y está ubicada al noreste a unos 20 minutos del centro cantonal de Paute. Las coordenadas del sitio de estudio son: -2.79°N de latitud, y -78.78°E de longitud.

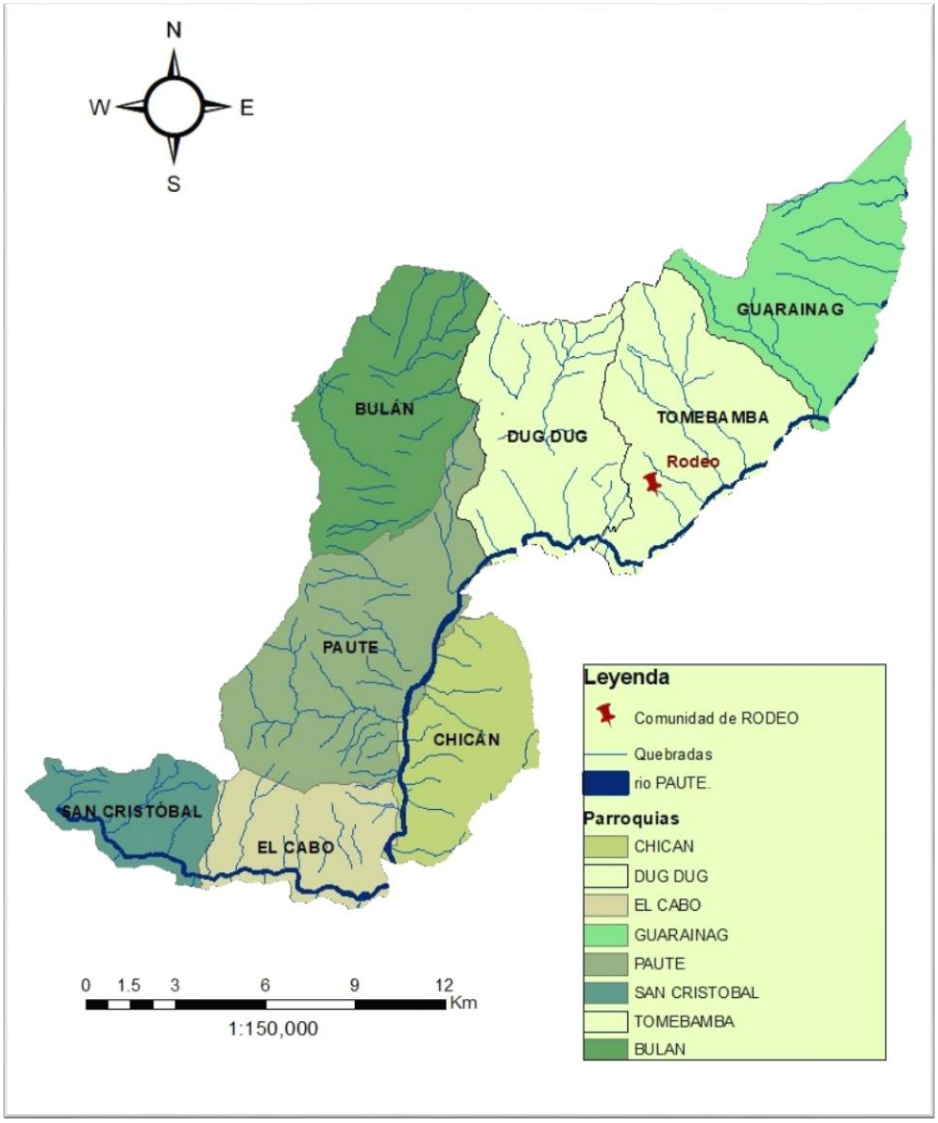


Figura 5 Mapa de ubicación del Proyecto
Elaboración: Autor

3.2 EVALUACIÓN TÉCNICA

3.2.1 Modelo propuesto para el dimensionamiento del sistema de energía renovable aislado.

Para la ejecución del proyecto se ha propuesto un método de dimensionamiento de un sistema renovable aislado de la red, se determinaron los consumos, cantidades de recursos y se dimensionaron los equipos en el siguiente orden:

- Estimación del consumo energético.
- Estimación del recurso energético.
- Selección del sistema adecuado
- Dimensionamiento del generador energético.
- Dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía.

- Dimensionado del regulador.
- Dimensionado del inversor.

3.2.1.1 Estimación del consumo energético.

Un nodo de servicio de telecomunicaciones puede variar en cuanto al tipo y al número de equipos que lo conforman, sin embargo para el presente estudio se ha definido uno específico del cual se conocen con certeza estas características importantes, ya que la empresa propietaria de éste proyecto cuenta ya con otros similares a los que se pretende implementar, es así que se hizo el estudio basado en uno de los nodos nombrados con anterioridad y que se abastecen de energía gracias al suministro público de energía eléctrica.

Para el cálculo de la demanda energética mensual del sistema de telecomunicaciones, se consideraron dos metodologías, las mismas que fueron propuestas para conocer el valor real aproximado de consumo y para comparar y estimar si los consumos energéticos fueron similares y tienen una lógica; a continuación se detallan las dos metodologías usadas:

3.2.1.1.1 Metodología basada en los valores de las planillas CENTROSUR.

Está basada en conocer los valores a partir de las planillas de los meses disponibles correspondientes a pagar, aquí se muestra la cantidad de energía consumida, además el valor correspondiente a pagar por consumo energético.

A través de la plataforma virtual de la Empresa Eléctrica Regional del Ecuador CENTROSUR, encargada de la distribución y comercialización de energía, se pudo acceder y se analizó las planillas mensuales de acuerdo a consulta por código cliente; además se puede también acceder por medio de número de contrato o por el número de cédula o RUC del usuario.

Se recopilaron datos de consumo de energía y valores a pagar de los últimos meses disponibles, se evidencian las fechas, valores de energía en kWh, los valores a pagar correspondientes al sector eléctrico y los valores a pagar por servicios por cuenta tercera. Así, con los valores recopilados se obtuvieron promedios correspondientes a los meses disponibles tanto de consumo como de montos a pagar.

El propietario de la estación de medición que proporciona todos estos valores es la empresa PV electrónica, ya que para el presente estudio se analiza un nodo ya existente de similares características al que se pretende implementar.

3.2.1.1.2 Metodología a base del consumo de los equipos del Nodo (Fichas Técnicas).

Esta se basa en el análisis teórico del consumo de cada instrumento o equipo que forma parte del Nodo de servicio de telecomunicaciones; para esto fue necesario

estudiar las especificaciones contenidas en las fichas técnicas de cada equipo que conforma el nodo; luego se hizo un cálculo integrado de todos los equipos involucrados, pudiéndose obtener así la carga de sistema.

Se analizó todo el Nodo de telecomunicaciones, obteniendo información de consumo de energía de cada equipo que conforma el sistema, de esta manera se pudo estimar cual es el consumo de todos los equipos como un conjunto para expresarlo en Kwh/mes.

Al contar con la información recolectada con estas dos metodologías, se pudo además de ver el consumo real y teórico del sistema, analizar si los valores resultantes tienen una cierta relación lógica entre sí; de no ser así, es decir si los valores obtenidos tenían diferencias considerables, iba a ser necesario analizar el sistema para descartar posibles fugas energéticas o consumo por parte de algún equipo o aparato electrónico que no necesariamente trabaje y sea indispensable para el nodo de telecomunicaciones.

3.2.1.2 Estimación del recurso energético.

Se hicieron visitas a la parroquia y al terreno del proyecto específicamente, se hizo una revisión general de las posibles fuentes energéticas presentes en el lugar que podían ser aprovechadas para generar electricidad y alimentar al nodo de servicio de telecomunicaciones.

En primera instancia, la información requerida fue obtenida al inspeccionar el sitio destinado para el proyecto y sus cercanías, tomando en cuenta en primera noción los aspectos necesarios que definan o no al terreno como óptimo para un fin energético.

Adicionalmente para reforzar el criterio de selección del lugar adecuado, se utilizaron fuentes secundarias de información que están al alcance de la población y de las instituciones tanto públicas como privadas.

Como se ha detallado ya en el apartado de marco teórico, existen variadas fuentes energéticas de características renovables, sin embargo para poder centrar un estudio en alguna de ellas se deberá seguir diversos procedimientos y tener en cuenta ciertos factores para definir una fuente energética en particular:

3.2.1.2.1 Factor Hidráulico.

Se visitó el área de estudio con el fin de inspeccionar este factor, ya que se sabe que por las cercanías al área del proyecto pasa el río Paute, además se hizo un análisis de los demás cuerpos de agua cercanos y ver si en alguno de ellos existe un salto de agua o simplemente si el suministro de agua llega con suficiente presión y caudal como para poder ser considerado como generador de electricidad a través del trabajo de turbinas hidráulicas. (Moreno, 2012)

3.2.1.2.2 Factor Biomasa.

Se hizo una inspección del terreno y los sitios aledaños al mismo para poder considerar o no esta opción, existen así diversos tipos de biomasa, entre estos se consideró: la biomasa natural, residual y excedentes de cosechas agrícolas; en el caso de que se hubiese llegado a determinar que existe la opción de implementar un sistema energético a base de biomasa, convenía definir el insumo principal a utilizar y analizar su capacidad calorífica para poder dimensionar un sistema y observar si abastecería la energía suficiente para el objetivo del trabajo. (Fernández, 2003)

3.2.1.2.3 Factor Eólico.

Se hizo una observación del sitio del proyecto para asegurar si se dispone del espacio necesario y estratégico para colocar turbinas eólicas, otro aspecto que se analizó en el sitio es que no existan barreras físicas que dificulten su funcionamiento.

Adicionalmente, la información general en cuanto a este parámetro fue tomada del "Atlas Eólico del Ecuador" diseñado y publicado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en el año 2013 con miras a reducir el impacto ambiental causado por el uso de fuentes de energía convencionales y a viabilizar la inversión pública y privada en la generación de energía eólica. (MEER, 2013)

Una vez que se hizo la revisión del "Atlas Eólico del Ecuador" se obtuvieron datos estadísticos que indican la velocidad de los vientos a lo largo de un año calendario en las cercanías del sector asignado para el proyecto. Así, con estos valores se pudo analizar si las condiciones que presenta el sitio de estudio son las adecuadas o no para este fin energético. Además en este documento se muestra también la potencia instalable por provincia y de forma general en el Ecuador.

3.2.1.2.4 Factor Solar.

Se hizo una observación del sitio del proyecto para asegurar si es posible ubicar las celdas fotovoltaicas en algún lugar donde los rayos solares lleguen directamente durante la mayor parte del día sin ser obstaculizados. Una vez definido esto, también se analizó la posibilidad de colocar los paneles solares sin problema alguno en cuanto al espacio necesario.

Adicionalmente se llevó a cabo la recolección de la información pertinente (radiación solar global) que es la que captan las células fotovoltaicas, esta información fue necesario obtenerla tomando en cuenta un año calendario ya que se debió considerar todos los cambios en la meteorología y climatología de la región, factores importantes que sin duda pueden afectar al rendimiento del sistema si no se los consideran.

Al igual que en el factor eólico, primeramente se constató si la zona cuenta con un buen nivel de producción del recurso energético (radiación solar); para esto se recurrió a una herramienta similar a la que se utilizó en el factor viento, ya que también está a

disposición de las instituciones públicas y privadas, la comunidad científica y la población en general el “Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica” dotada por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), dicho inventario cuenta con la cuantificación del potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, por medio de mapas mensuales de insolación directa, global y difusa, con el fin de emplazar proyectos locales de generación eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos. (CONELEC, 2008)

Con ayuda de las herramientas computacionales requeridas para llevar a cabo el dimensionamiento y la simulación del sistema que se vaya a implementar, se obtuvieron datos horarios del recurso solar pertenecientes a todo un año calendario; los datos que se obtuvieron del Software utilizado (SAM) corresponden a las coordenadas de la zona que se introdujeron y muestran valores generados y extrapolados partiendo de mediciones satelitales.

3.2.1.3 Selección del sistema adecuado

Una vez hechas las inspecciones in situ en el terreno asignado para el proyecto, además ya analizadas las fuentes secundarias de interés, se contó ya con la o las posibles opciones a considerar y posteriormente se pudo definir que fuente o fuentes energéticas serán las adecuadas para centrar un estudio más profundo y poder analizar la factibilidad del proyecto que se pretende implementar.

Puesto que el presente estudio como ya se indicó, comenzó con la fase exploratoria del terreno (entre las primeras semanas del tiempo ocupado para la elaboración del proyecto), en el cual se pretende implementar el sistema aislado de energía renovable, se pudo obtener de inmediato la información necesaria para descartar algunas de ellas y enfocarse más a partir de ahora en las fuentes de energía que aparentemente existen en mayor cantidad y son más fáciles de aprovechar para cumplir los objetivos del proyecto.

Con la fase exploratoria se descartaron algunas posibles opciones de generación excepto la solar fotovoltaica y la eólica; sin embargo al revisar la bibliografía, estudios anteriores manifiestan que en la zona la generación eólica es muy baja a pesar de que en la fase exploratoria no se pudo constatar aquello, por lo que ésta opción fue suprimida quedando solamente como única elección el aprovechar la energía Solar Fotovoltaica. De esta manera se pudo centrar más el estudio en esta única fuente de energía renovable en el sitio de estudio y de aquí en adelante la metodología se detalla en base a la generación de energía solar fotovoltaica.

3.2.1.4 Dimensionado del generador Fotovoltaico

Si bien (Aguilera & Hontoria, 2011), menciona que para el cálculo del número de paneles solares necesarios es preciso conocer ciertos valores como (energía

requerida, la potencia pico del módulo solar, la radiación global sobre una superficie inclinada, y el factor de pérdidas), en este estudio al conocer las especificaciones del módulo solar, y el inversor se trabajó de una manera más conveniente tomando además ciertos valores obtenidos mediante el software SAM como datos de partida, evitando así un análisis más exhaustivo.

Para definir el área de captación de módulos y por ende el número de paneles solares que se necesitan, fue preciso conocer los siguientes valores para poder hacer los respectivos cálculos:

- Valor de la Irradiación Global Horizontal (GHI) o Radiación solar en el plano de matriz (POA).- Al conocer esta variable se sabe cuanta irradiación captable por los módulos solares se produce en el sitio.

  Fue importante que la información obtenida sea de todos los meses del año, para así considerar inclusive los meses de menor irradiación y poder dimensionar un sistema robusto.
- El valor del consumo energético total de los equipos del Nodo (ET).- Al conocer este valor se tomó en cuenta el consumo real y se pudo calcular un consumo mensual para relacionarlo con el valor de GHI que es la generación en el sitio.
- La eficiencia del módulo solar y del inversor de corriente.- Hay que tomar muy en cuenta estos parámetros ya que no toda la energía que se produce y llegan a las celdas solares se convertirá luego en electricidad para alimentar en este caso al nodo de telecomunicaciones.
- Área del módulo solar a utilizar.- Por último este parámetro es igual de importante ya que los valores de la radiación GHI obtenida, son correspondientes a un metro cuadrado de superficie y así la generación es directamente proporcional al área de los módulos instalados.

Es importante mencionar que en el presente estudio se tomó en cuenta la eficiencia del panel solar, ya que este parámetro relaciona la energía producida por las celdas con la energía entrante del sol (Honsberg & Bowden, 2017). Adicionalmente se lo relacionó tomando en cuenta el área del módulo solar para obtener el número de paneles solares necesarios.

Para el dimensionamiento del generador fotovoltaico se tomó como base la ecuación 1, propuesta por (Aguilera & Hontoria, 2011):

$$NT = ET/ (P_P * G_{mB} * P_G) \qquad \textit{Ecuación 1}$$

NT: Número de paneles solares necesarios

ET: Energía real requerida (Wh)

P_p: Potencia del Pico del Módulo (W/kW/m^2)

G_{mB}: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo B (kWh/m^2)

P_G: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Sin embargo del número de módulos que se necesitaron para el sistema, fue obtenido mediante una nueva ecuación propuesta por el autor, ya que como se menciona anteriormente, el software SAM utilizado permitió la obtención del valor de la GHI (Radiación global horizontal) o POA (Radiación solar en el plano de matriz), que toma en cuenta ya los parámetros P_P, G_{mB} ,P_G utilizados por (Aguilera & Hontoria, 2011); además se toma en cuenta la irradiación global aprovechada (IGa) y el área del módulo solar (Ams). La inclinación con la que se trabajó fue de 12 grados en relación a la horizontal lo que posibilita los procesos de autolimpieza de las celdas instaladas y además permite un gran aprovechamiento del recurso solar al ser este un ángulo menor.

Así, la expresión propuesta es:

$$NT = \frac{ET}{IGa * Ams} \quad [1] \qquad \textit{Ecuación 2}$$

En donde:

NT: Número de paneles solares necesarios.

ET: Energía real requerida.

IGa = Irradiación Global Aprovechada.

Ams: Área del módulo solar.

Se ha denominado como Irradiación global aprovechada (IGa) a la energía neta que se convierte en energía eléctrica; dicho de otra forma, es la energía resultante luego de pasar los distintos procesos en donde existen pérdidas. El software SAM considera las pérdidas en cuanto a factores externos como sombras, pérdidas por inclinación de los paneles, etc y da valores de toda la energía solar que entra al sistema; sin embargo las perdidas por eficiencia de los equipos como de los módulos solares e inversores aquí no son considerados por lo que al ser de vital importancia se toman en cuenta en el presente trabajo estos parámetros para la obtención de la irradiación global aprovechada real:

$$IGa = GHI * eMS * eI \quad [2] \qquad \textit{Ecuación 3}$$

En donde:

IGa: Irradiación Global Aprovechada

GHI: Irradiación Global Horizontal

eMS: Eficiencia del módulo solar

---

[1] La ecuación 2, fue ajustada con ayuda y el criterio del Ing. Luis G. González, Phd. Investigador Prometeo y asesor del presente trabajo de titulación.

[2] La ecuación 3, fue ajustada con ayuda y el criterio del Ing. Luis G. González, Phd. Investigador Prometeo y asesor del presente trabajo de titulación.

eI: *Eficiencia del inversor*

3.2.1.5 Dimensionado del sistema de almacenamiento de energía.

El dimensionamiento del sistema de baterías fue realizado acorde al requerimiento energético, tomando en cuenta un tiempo de autonomía en días y la máxima profundidad de descarga de la batería.

Se denominó "necesidad de almacenamiento", a la energía que resultó de calcular el consumo necesario en los días de autonomía propuestos, en los cuales se consideraron como de aporte nulo (en el peor de los casos) por parte de los paneles solares, es decir energía que será suministrada solamente por las baterías en días de ausencia de sol.

El sistema de baterías se dimensionó entonces de manera que la capacidad de almacenamiento del mismo sea mayor al consumo que representan los días de autonomía, para que el sistema funcione en casos extremos donde se de esta situación.

El cálculo de la necesidad de almacenamiento según (Valdivia, 2012), está dado por la siguiente expresión:

$$NA = (CEI * 24h * DA)/Pd \qquad \textit{Ecuación 4}$$

En donde:

NA: *Necesidad de almacenamiento de las baterías. (Wh)*

CEI: *Consumo energético instantáneo. (De todos los equipos del Nodo) (W)*

24h: *Correspondiente a las 24 horas de un día. (El sistema no se apaga)*

DA: *Número de días de autonomía (3)*

Pd: *Profundidad de descarga de la batería. (80%)*

Se usarán baterías de ciclo profundo ya que éstas soportan grandes descargas durante largos periodos de tiempo, por lo que para el presente proyecto son las más convenientes; sin embargo, no se deben descargar completamente. La mayoría de los fabricantes recomiendan que la descarga no supere el 80% de su capacidad nominal para que no afecte la vida útil del banco de baterías (Abella, 2014).

Una vez conocido el valor de la necesidad de almacenamiento de energía, se puede definir el sistema de baterías con los criterios anteriormente estipulados.

La ecuación 5 relaciona la necesidad de almacenamiento con la corriente mínima que tiene que soportar el sistema de baterías:

$$Cm\ (Ah) = NA\ (Wh)/Vbat. \qquad \textit{Ecuación 5}$$

En donde:

Cm (Ah): Carga mínima que soporta las baterías.

Vbat: Voltaje del sistema de baterías.

Al trabajar con el banco de baterías conectados en serie, el voltaje del sistema resultante será la suma de los voltajes de cada batería que lo conforma.

3.2.1.6 Dimensionado del regulador DC/DC

Para estimar el regulador de carga, fue necesario utilizar los datos indicados por el fabricante del panel solar que se utiliza en el presente estudio, dichos datos se muestran en la ficha técnica del producto. De manera especial para escoger el regulador de carga se debe considerar el valor de la corriente de cortocircuito (Isc) y luego este valor se multiplicó por la cantidad de paneles solares (NT) empleados para la instalación (Pérez, 2009). La siguiente expresión muestra la corriente que debe soportar el regulador de carga:

$$I_{máx} = Isc * NT \qquad \textit{Ecuación 6}$$

3.2.1.7 Dimensionado del Inversor DC/AC.

Para seleccionar el inversor adecuado, se debe calcular la potencia máxima instantánea demandada, es decir el máximo consumo instantáneo de todos los equipos que conforman el nodo de telecomunicaciones. Aquí es importante definir un factor de funcionamiento el cual indica la fracción de tiempo que los equipos estarán funcionando; este valor se deberá multiplicar por la cantidad máxima demandada para obtener los valores del inversor a utilizar. En el presente caso, el nodo funcionará todo el tiempo, es decir el sistema no se apagará por lo que el factor de funcionamiento será de 100%. (Pérez, 2009)

3.2.2 Cálculo del rendimiento del sistema fotovoltaico con SAM.

Este software fue escogido para trabajar en el presente estudio ya que muestra una variedad de opciones; las mismas no se rigen a una sola metodología, sino más bien en ese sentido es un software muy amplio y completo; en él se pudo trabajar de una manera bastante representativa en cuanto a las condiciones del lugar y a las necesidades mismas del proyecto que se pretende establecer.

El software brinda desde un inicio, información útil para empezar una simulación como los datos meteorológicos, permite la manipulación de las características y configuración de los equipos que conforman el sistema, además una simulación mediante este software permite considerar las posibles pérdidas y finalmente mostrar de manera muy ilustrativa una amplia gama de resultados que se pueden analizar individual y colectivamente entre sí, así como exportar datos para profundizar estudios con ayuda de otras herramientas computacionales.

Para un mejor entendimiento de su funcionamiento, se muestra a continuación en la figura 6, un esquema que resume las capacidades de SAM para un sistema

fotovoltaico, describiéndose desde los datos de entrada, manipulación de variables y equipos y resultados ilustrativos.

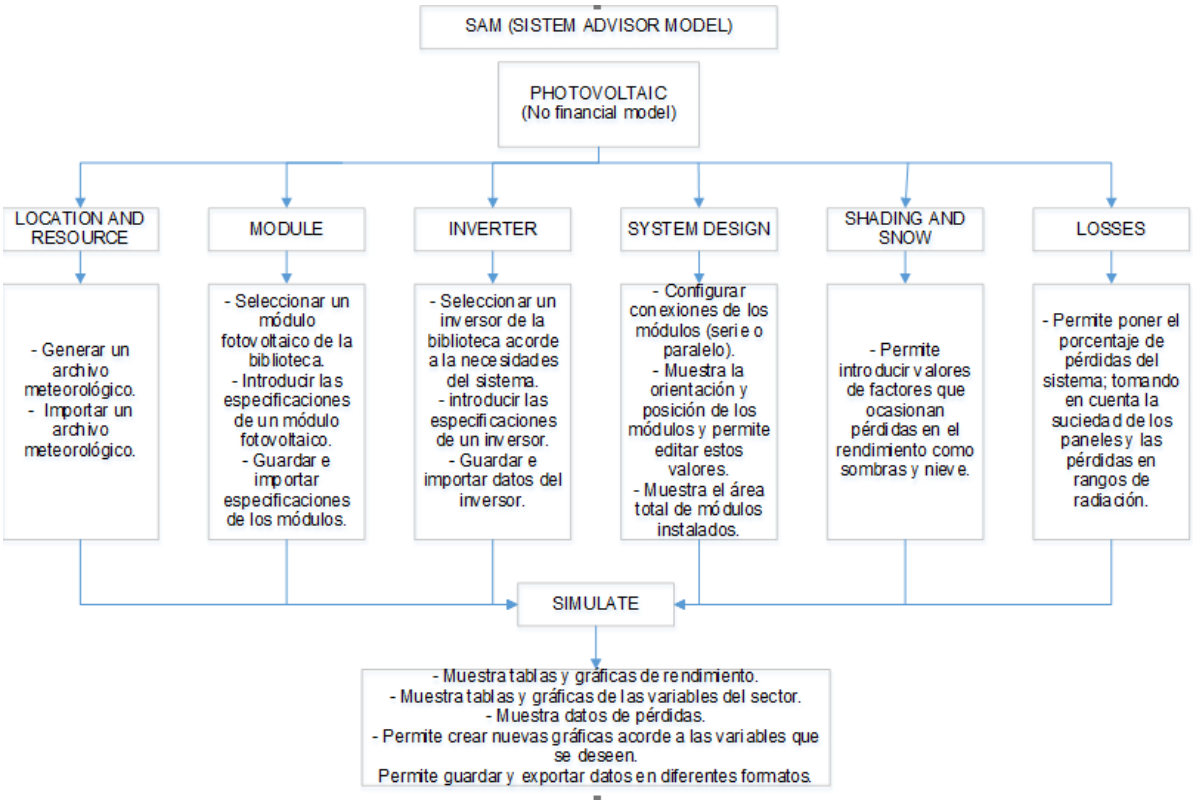


Figura 6 Esquema de las funciones de SAM y sus capacidades.
Fuente:
Elaboración: Autor

Como se menciona en el apartado de marco teórico a cerca de SAM, ésta herramienta tiene dentro de sus aplicaciones la de simular el rendimiento de un sistema Fotovoltaico, eólico, de biomasa, geotermal, entre otros. Por lo que al iniciar el programa se debe seleccionar el tipo de sistema que se desee implementar y por consiguiente hacer el estudio. En el presente caso se trabajó con el sistema Fotovoltaico en el modo “No financiel model” ya que, el software no se utilizó para evaluar financieramente el proyecto sino para evaluar su rendimiento.

A continuación se explica a detalle el funcionamiento por secciones de SAM:

3.2.2.1 Obtención de datos y archivo meteorológico con SAM.

- **Location and Resource.**

El software SAM, cuenta con la opción de tomar variables que constan en su biblioteca integrada, así se puede obtener el archivo meteorológico perteneciente al sitio, el cual es indispensable para comenzar cualquier estudio en SAM. Varias fuentes proveen la información del sector que se busca, la misma que sirve y es esencial para arrancar

con el dimensionamiento; además también el programa permite introducir un archivo meteorológico si es que se quiere utilizar uno en particular; entonces de ese modo se debe definir dicho archivo en un formato compatible con SAM y trabajar con este.

Para el presente estudio se tomaron los valores del archivo meteorológico obtenido de la biblioteca integrada de SAM que corresponde a la parroquia Tomebamba del cantón Paute; para esto se introdujeron las coordenadas UTM del lugar destinado para el proyecto.

Adicionalmente con los parámetros del lugar obtenidos, el programa cuenta ya con la información necesaria del recurso solar para seguir con el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico. Además permite mostrar mediante gráficas y tablas los valores tales como la irradiación global horizontal, velocidad de los vientos, entre otros parámetros; así, se facilita el posterior dimensionamiento del sistema acorde a los recursos energéticos del lugar dentro de la misma plataforma o en otras diferentes por medio de su opción de exportación de datos.

En la figura 7, se señala con el cuadro pequeño el botón para descargar el archivo meteorológico; además presenta un ejemplo de un lugar seleccionado al azar; aquí se podrá ver la ubicación, latitud, longitud, zona horaria, elevación del sitio, la fuente de la cual se obtuvo dicha información, entre otros parámetros; además se señalan ya los valores de las condiciones del sitio como los diferentes tipos de insolación (global, directa normal, difusa) temperatura y velocidad de los vientos.

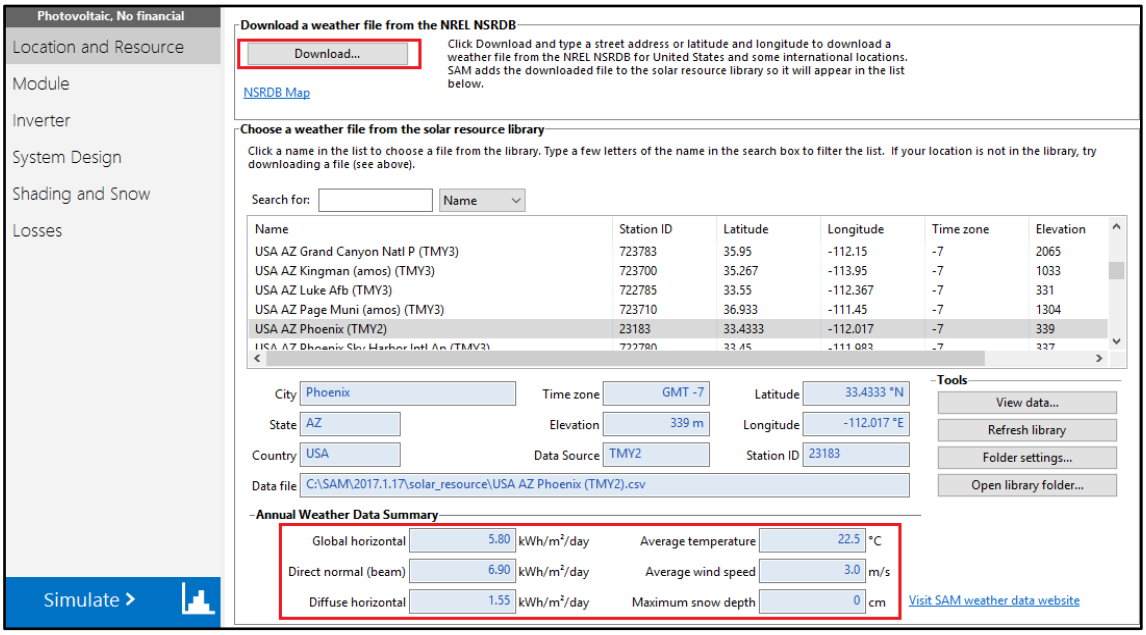


Figura 7 Proceso de simulación con SAM: Obtención de archivo meteorológico.
Elaboración: Autor

Dentro de la ventana “Location and Resource” también se puede introducir un archivo climático generado por organizaciones o instituciones ajenas a SAM; dicho archivo

será válido siempre y cuando se lo realice en un formato que SAM pueda interpretar, por ejemplo una hora de cálculo de Microsoft Excel.

3.2.2.2 Selección de los equipos (panel solar e inversor)

- **Module – Inverter.**

Con los valores ya conocidos del requerimiento energético del nodo de telecomunicaciones y del recurso energético del sitio de estudio, se debe incluir dentro de éste análisis los equipos necesarios para este tipo de sistema como lo son los módulos fotovoltaicos y los inversores.

El “NREL” al ser una institución enfocada a las energías renovables, cuenta también con una amplia gama de equipos en su biblioteca, los cuales al momento de escoger tanto el Módulo fotovoltaico como el Inversor, sirven de mucha ayuda ya que vienen con sus respectivas especificaciones tanto de capacidad, tamaño, marca, requerimientos energéticos, entre otros; además si se quiere dimensionar con equipos aparte de los que muestra la biblioteca de SAM, se puede escoger una opción en donde se introducirán las especificaciones tanto del módulo como del inversor con el que se desee trabajar.

Para el presente estudio, las especificaciones de los equipos fueron seleccionadas a partir de las fichas técnicas de los equipos a utilizar, ya que los mismos fueron determinados con anterioridad en el dimensionamiento del sistema. A continuación se muestran en las figuras 8 y 9 el proceso de introducción de especificaciones para el módulo solar y para el inversor respectivamente:

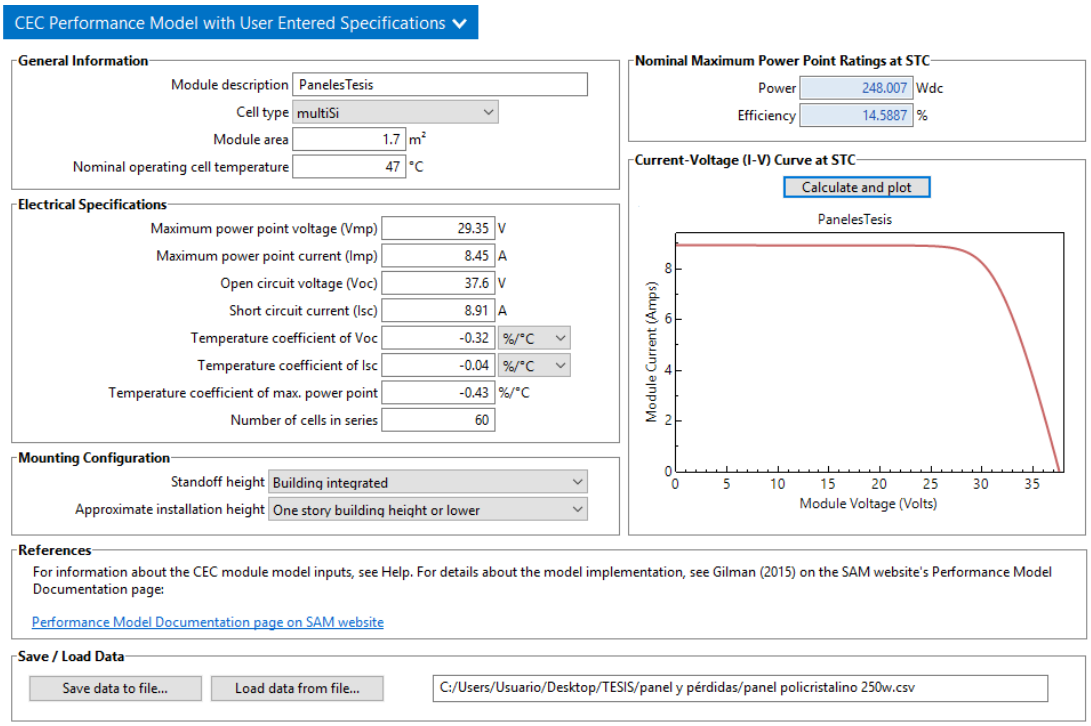


Figura 8 Proceso de simulación con SAM: Introducción de especificaciones del panel solar

Elaboración: Autor

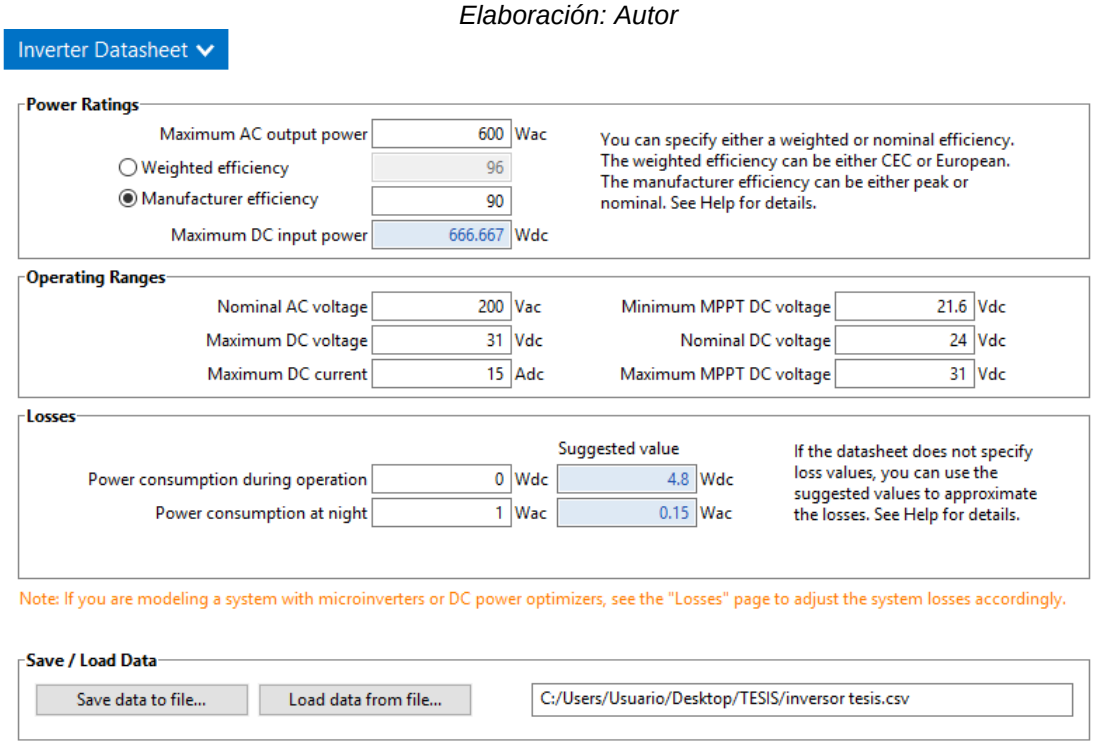


Figura 9 Proceso de simulación con SAM: Introducción de especificaciones del inversor

Elaboración: Autor

3.2.2.3 Configuración de los paneles solares.

- **System desing.**

En esta pestaña se pudo definir el número de módulos solares a utilizar y la manera en la cual van a conectarse (configuración en serie o paralelo), capacidad instalada; estos aspectos fueron definidos de acuerdo a las necesidades energéticas del proyecto.

Adicionalmente se pudo configurar y definir en qué posición van a estar colocados los módulos fotovoltaicos, la inclinación y la orientación (norte, sur, este, oeste). Esto se puede hacer hasta cuatro veces, pudiendo asumir un sistema con varios módulos en diferentes orientaciones e inclinaciones.

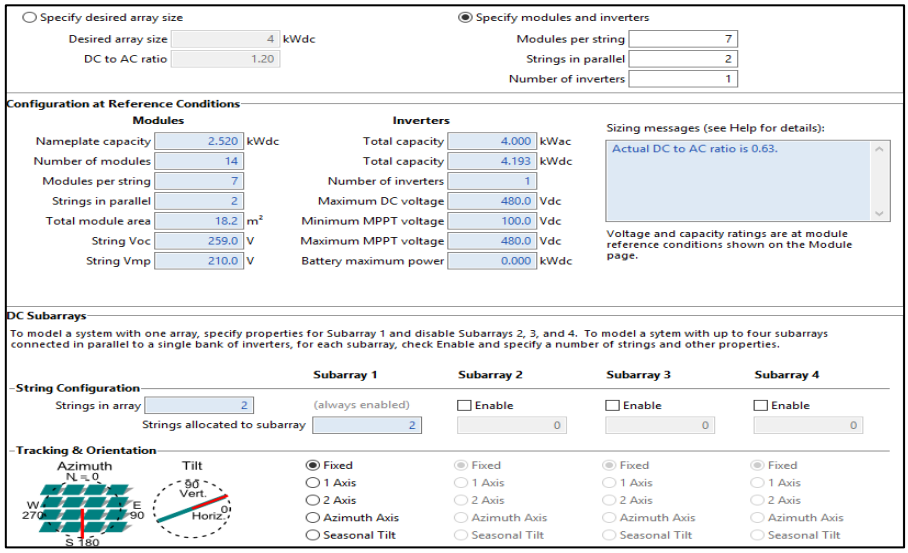


Figura 10 Proceso de simulación con SAM: Configuración de conección, orientación e inclinación de los módulos solares, verificación de la capacidad instalada.
Elaboración: Autor

3.2.2.4 Estimación de las pérdidas.

- **Shading and snow – losses**

Estos dos últimos ítems hacen referencia a las pérdidas que pueden existir y a su vez alterar el funcionamiento del sistema fotovoltaico al obstaculizar la llegada directa de los rayos solares a las placas solares.

En “Shading and snows”, se deben tomar en cuenta y se deben incluir en el análisis los valores de acuerdo a las sombras en el caso de que existan objetos que puedan obstaculizar el paso directo de los rayos solares, y también el factor nieve en el caso de que el estudio se realice en un lugar en donde ocurra dicho fenómeno meteorológico.

En la opción “Losses”, van las pérdidas en porcentaje que va a tener el sistema, como pérdidas anuales por ensuciamiento que por lo general hacen referencia al polvo y a las partículas que puedan quedar suspendidas en los módulos fotovoltaicos, además SAM da la opción de aplicar las pérdidas por defecto del programa de acuerdo al tamaño del sistema que se requiere instalar y finalmente si se desean poner las

pérdidas en rangos de radiación para un lugar en específico se debe cargar también esta información para una mejor simulación.

De acuerdo a los resultados de un estudio realizado en Cuenca, afirman los autores (Izquierdo & Pacheco, 2017), que de instalarse sistemas fotovoltaicos en el sitio estudiado por ellos o en áreas cercanas, no será necesaria la limpieza de los paneles solares, ya que demostraron que las condiciones de precipitación que tiene la ciudad hace las partículas se laven con la lluvia y los paneles permanezcan limpios durante todos los meses del año. Por tal motivo no se consideraron pérdidas por suciedad ni partículas.

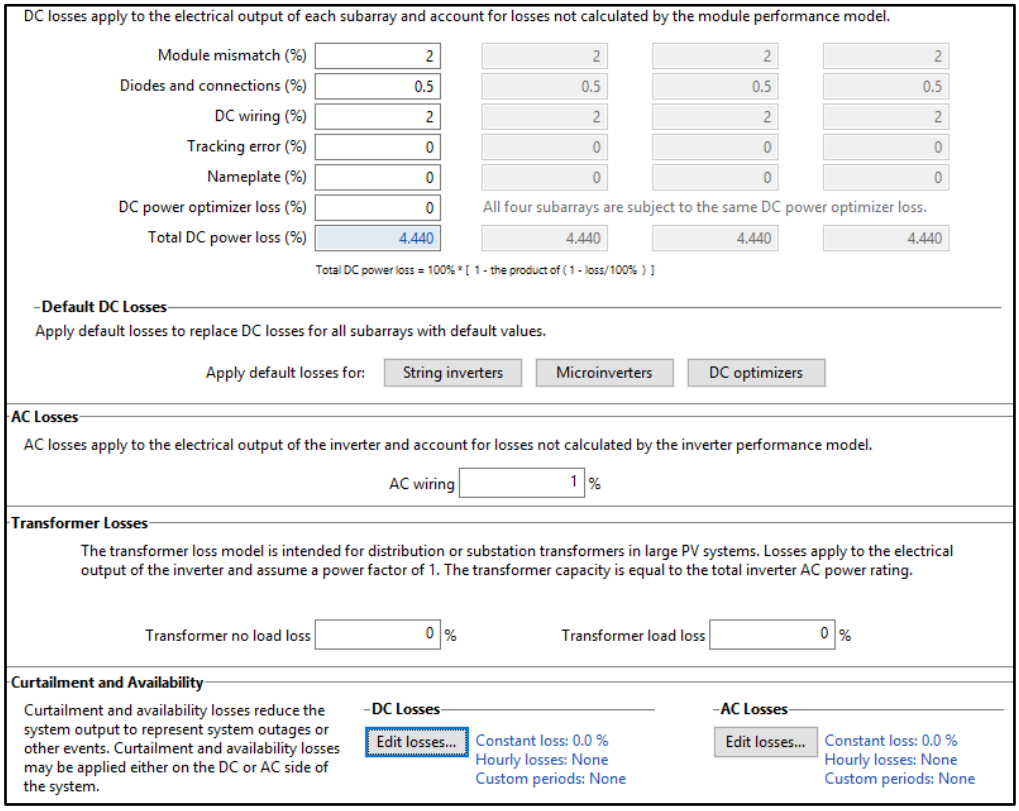


Figura 11 Proceso de simulación con SAM: Generación de datos correspondientes a las pérdidas del sistema.
Elaboración: Autor

Una vez completados correctamente todos los parámetros y requerimientos del software se tendrá todo para ya conocer las salidas de información o los resultados por medio de tablas o gráficas.

3.2.2.5 Simulate.

Al seleccionar la opción “SIMULATE” automáticamente el programa crea todas las tablas y gráficas acorde a los parámetros introducidos anteriormente.

El programa muestra una serie de opciones de datos que pueden ser útiles como potencia instalada, producción de energía anual o mensual, es decir el rendimiento del

sistema; y también permite ver gráficamente todas las variables que fueron introducidas como la radiación, temperatura, velocidad del viento, etc.

Las tablas y gráficas pueden ser exportadas en varios formatos en el caso que se deseara complementar el estudio con algún otro programa computacional.

3.2.3 Simulación del sistema con SIMULINK

La simulación usando la herramienta de Matlab "SIMULINK", fue la segunda metodología de simulación que se usó para el presente trabajo, con el fin de apreciar de mejor manera los resultados, además aquí se pueden considerar todos los equipos del sistema fotovoltaico, considerando valores de eficiencia de los mismos. Además la simulación por medio de esta herramienta permitió mejorar el sistema sobre todo relacionado con la vida útil de los equipos en especial del banco de baterías a utilizar.

En primera instancia se diseñó el sistema de energía renovable aislada para tomar en cuenta todos los equipos involucrados, además todas las ganancias y las pérdidas que represente el sistema. La figura 12 muestra el sistema fotovoltaico que se estudia en el presente trabajo.

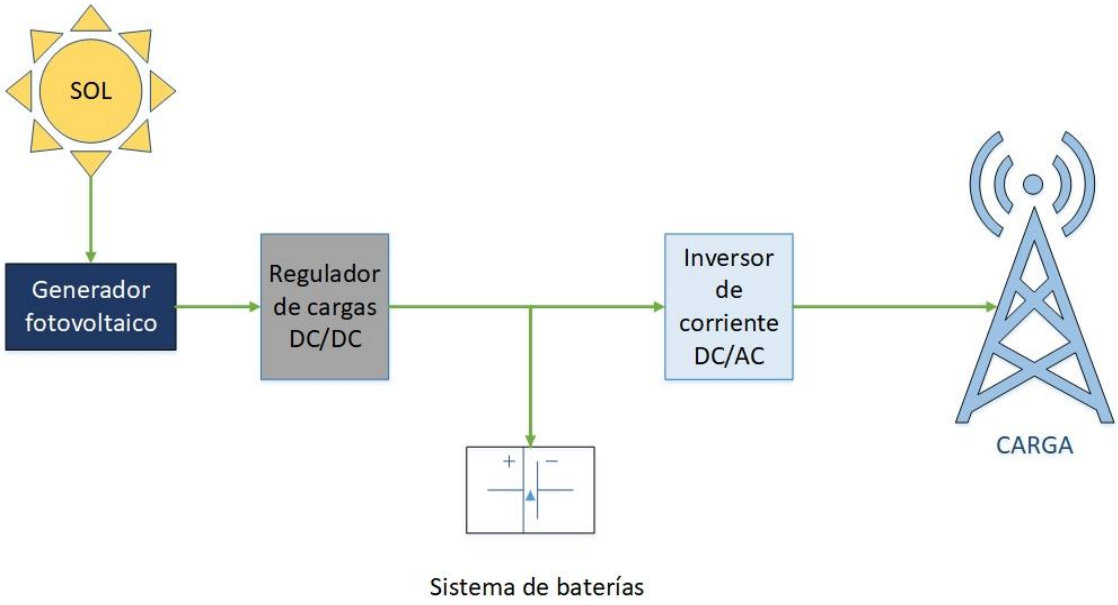
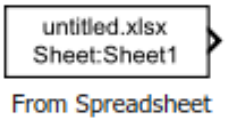
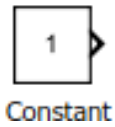
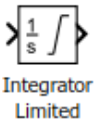
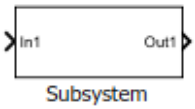


Figura 12 Diseño del sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica para el nodo de telecomunicaciones.
Fuente y elaboración: Autor

Una vez hecho el diseño previo, se analizó cada equipo, con el fin de asignar correctamente las herramientas de simulación que dispone SIMULINK.

Las herramientas utilizadas se describen a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3 Función de las herramientas de SIMULINK

Herramienta	Función
	Permite importar datos variables en el tiempo. Para el presente estudio fue la herramienta adecuada para introducir el archivo de irradiación de un cierto lapso de días especificado.
	Permite introducir un valor constante. Para este trabajo se utilizó este bloque para representar el valor demandado del nodo de telecomunicaciones es decir la energía que consume dicha instalación.
	Permite multiplicar el valor proveniente de otra parte del sistema por un valor constante. En este caso se utilizó esta herramienta para considerar los porcentajes de eficiencia de los equipos y el área de captación de los paneles solares.
	Permite la integración de tiempo continuo de una señal de entrada. En este caso se usó para representar el banco de baterías considerando la eficiencia del mismo
	Proporciona un puerto de salida para un subsistema. En este estudio se utilizó este bloque para continuar el análisis con los valores de un subsistema utilizado.
	Permite hacer un subsistema para evitar realizar un diagrama muy complejo y largo. En el presente estudio se utilizó este bloque para crear un subsistema solamente de la producción solar y su aprovechamiento por parte de los módulos solares, tomando en cuenta el área de captación y la eficiencia.
	Permite unir dos señales con el fin de visualizarlas en una misma salida Scope. Se utilizó para unir las señales de producción solar y capacidad de carga de las baterías.
	Permite visualizar de forma gráfica los resultados de lo simulado. Para el presente estudio se utilizó para visualizar la curva de producción solar y la capacidad de carga de las baterías con relación al tiempo.

Elaboración y elaboración: Autor

Posteriormente las herramientas fueron colocadas en la plataforma de simulación y configuradas de tal manera que el diagrama resultante represente exactamente el sistema de energías renovables que se estudia en el presente trabajo; y por último se obtienen las distintas ilustraciones que representan los resultados según las configuraciones previas.

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Para la realización del apartado económico del proyecto, es preciso establecer todos los costos de instalación, entradas y salidas de efectivo, además también los valores correspondientes al nodo de telecomunicaciones, y los pertenecientes al sistema fotovoltaico y de red pública.

De este modo se logró determinar la rentabilidad del proyecto de electrificación con energías renovables aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones, mediante el cálculo de los indicadores TIR y VAN.

Similarmente se hizo el contraste económico entre la implementación del sistema de energía renovable y el sistema de servicio público. A continuación se muestran los resultados del presente análisis:

3.3.1 Indicadores de rentabilidad VAN y TIR.

Existen varios indicadores de conveniencia para un proyecto, sin embargo para el presente estudio se han considerado los dos principales: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El valor actual neto (VAN) es una herramienta financiera que calcula el valor actual de cierta cantidad de dinero o de flujos de caja en el futuro, partiendo de una inversión inicial. (Ortegón et al., 2005)

Para calcular el VAN del proyecto, el primer paso fue elaborar un flujo de efectivo, en el cual se expresan detalladamente la inversión inicial los ingresos y egresos dentro de todo el periodo de tiempo a analizar; así mismo la siguiente acción es escoger una tasa de descuento efectiva, que permita determinar el valor del dinero en el futuro, y por último descontar los flujos netos del proyecto a la tasa escogida. A continuación se muestra la ecuación 7 para el cálculo del VAN según (Ortegón et al., 2005):

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{F\,t}{(1+k)^t} - I \qquad \textit{Ecuación 7}$$

En donde:

- *F t,* equivalen a los flujos de dinero en cada periodo t
- *I,* es la inversión inicial del proyecto
- *n*, es la cantidad de periodos de tiempo
- *k*, tasa de descuento efectiva

La tasa interna de retorno (TIR) está muy relacionado con el indicador VAN, puesto que para su cálculo de cierto modo se invierte el procedimiento, de tal manera que en lugar de elegir una tasa de descuento, el VAN de flujos se considera cero y la TIR viene a ser la tasa de descuento que ocasionará esto (Maldonaro Arias, 2006). A continuación se muestra la ecuación 8 para el cálculo de la TIR:

$$TIR = \sum_{t=1}^{n} \frac{F\,t}{(1+d)^t} = 0 \qquad \textit{Ecuación 8}$$

En donde la TIR será la tasa de descuento (d) que ocasione que el resultado de la expresión anterior sea cero.

Un VAN positivo indica que realizando el proyecto se estará en mejores condiciones, por lo tanto se recomienda la ejecución del proyecto; un VAN igual a 0 indica una situación de neutralidad, se la podría considerar como una situación de indiferencia; finalmente un VAN negativo indica que se estará en peores condiciones que si no se realizara el proyecto, por lo tanto se lo rechaza.

Así mismo el criterio tomado para evaluar el proyecto mediante la TIR es el siguiente: Si TIR > k utilizado para el cálculo del VAN, se acepta el proyecto por lo que la tasa que se obtiene es mayor a la tasa mínima de rentabilidad correspondiente a la inversión; así mismo si TIR = k, se estaría en una condición parecida a cuando el VAN es cero y es indiferente si realiza o no el proyecto de inversión, finalmente si TIR < k, se recomienda rechazar el proyecto puesto que no se alcanza la mínima rentabilidad que se pide a la inversión.

3.3.2 Contraste entre el servicio público de electricidad y el sistema fotovoltaico aislado.

Una de las inquietudes que surgen al momento de pensar en la implementación de un sistema de energía renovable, como en el presente estudio con la utilización de un sistema fotovoltaico aislado de la red, en una sociedad donde el precio de pago por el servicio eléctrico es relativamente bajo, es la de analizar qué sistema resultaría más factible y mejor económicamente para el inversor. Por dicha razón en el presente estudio se realiza un estudio económico comparativo entre los dos sistemas mencionados, relacionándolos entre sí en condiciones similares especialmente en el tiempo de vida útil de cada sistema.

Una particularidad del presente estudio es que la idea de implementar un sistema de energía renovable aislado de la red, surgió especialmente porque el sitio estratégico en donde estaría el nodo de telecomunicaciones se encuentra en una zona rural, en donde no existe servicio eléctrico público; por lo que disponer de energía eléctrica

supone gastos considerables por extensión de la red hasta el sitio asignado. Adicionalmente se valorará también el costo de implementación del servicio público en relación a la distancia que se necesita extender la red eléctrica y determinar bajo qué condiciones es mejor económicamente usar el sistema renovable o el tradicional.

Fue necesario calcular un tiempo de depreciación de los equipos ya que aquí no se trabajó en un periodo de tiempo establecido por el autor, sino se consideró el tiempo de vida útil de los equipos más significativos de cada sistema de electrificación. De este modo se considera que si un equipo dura cierta cantidad de años, luego de ese lapso de tiempo el equipo pierde el 100% de su valor total por el uso que se le ha dado, entonces cada año pierde un porcentaje del costo total el cual se debe considerar como un egreso en particular. Para calcular este porcentaje se divide el 100% del costo del equipo entre el número de años correspondiente al tiempo de vida útil del mismo.

Para valorar el sistema renovable frente al servicio público de energía eléctrica se siguió la siguiente metodología propuesta, según los años de vida útil de cada sistema y todos los valores que se involucran en dicho periodo.

Para el sistema fotovoltaico:

- Se recopilaron datos de equipos y mano de obra para la instalación del sistema de energía renovable.
- Se calculó un factor de depreciación anual que hace referencia al cambio de baterías una vez transcurrida su vida útil. (15 años); dicho de otra forma, representa el valor que corresponde a invertir por un año de funcionamiento del banco de baterías.
- Similarmente, se calculó un factor de depreciación anual para las celdas solares una vez transcurrida su vida útil (15 años).
- Se tomaron en cuenta los valores correspondientes al mantenimiento periódico de los equipos.

Para el suministro eléctrico público:

- Se recopilaron datos del valor de los equipos y la mano de obra, para colocar una estación de transformación de energía necesaria para suministrar al nodo de telecomunicaciones.
- Se tomaron datos además del valor de los equipos y la mano de obra correspondiente a extender la red eléctrica una cierta distancia.
- Por último se recopilaron datos del consumo de energía por parte del nodo de telecomunicaciones para conocer el precio a pagar anualmente por este servicio.

Una vez recolectados todos los valores a invertir, tanto para el sistema fotovoltaico como para el suministro eléctrico público se realizó un análisis en el cual se considera un tiempo de vida útil similar para ambos sistemas y se analizan cada uno en diferentes escenarios en donde el costo de la instalación y la distancia de emplazamiento son las principales directrices.

3.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL.

La identificación y evaluación de impactos ambientales es una herramienta que permite predecir los impactos potenciales, tanto positivos como adversos, sobre los factores ambientales presentes en el sitio de estudio; los resultados que se obtienen permiten orientar y tomar medidas a cerca las distintas situaciones que se presentarán durante el desarrollo del proyecto. (Greenleaf Ambiental, 2010)

3.4.1 Identificación de Impactos.

Se identificaron los posibles impactos relevantes y significativos a presentarse, con la finalidad de hallar situaciones de causa y efecto que originan los impactos ambientales.

Se empleó una matriz adaptada a la Matriz de Leopold de doble entrada en la que se colocan los componentes ambientales susceptibles por un lado y la actividad identificada como alteradora del medio por otro lado.

Una vez construida la matriz, se analiza si existe interacción entre las actividades del proyecto sobre cada componente ambiental; en caso de existir se marca con un signo negativo (-) a los impactos adversos y con el signo positivo (+) a los benéficos. (Greenleaf Ambiental, 2010)

3.4.2 Valoración de Impactos Ambientales

Luego de establecer las interacciones del proyecto, según la metodología usada por (Greenleaf Ambiental, 2010), se realizó la valoración de los mismos, utilizando índices de impacto ambiental basados en los Criterios Relevantes Integrados (CRI), que permiten valorar cada efecto identificado en nuevas matrices.

La valoración de impactos según esta metodología, se realiza a través de la evaluación de la Intensidad, Extensión, Duración, Reversibilidad e Incidencia; para lo cual han sido establecidas unas escalas que se muestran en la tabla 4:

Tabla 4 Parámetros para determinar la Magnitud y VIA de los impactos, criterios, escalas y valores.

PARAMETRO	CRITERIO	ESCALA		VALOR
Intensidad (I)	Grado con el que un impacto altera a algún elemento del ambiente	Alto		7-9
		Medio		4-6
		Bajo		1-3
Extensión (E)	Área geográfica que será afectada por la actividad causando impacto	Regional		10
		Local		5
		Puntual		2
Duración (D)	Tiempo que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición.	Largo		10
		Mediano		5
		Corto		2
Reversibilidad	Posibilidad de reconstrucción del factor afectado, una vez que se deje de intervenir.	Irreversible	Baja	10
			A muy largo plazo y costoso	9
		Parcialmente reversible	Media	5
		Reversible	Inmediata	2
Incidencia	Posibilidad real o potencial de que una actividad produzca un impacto sobre un factor ambiental	Alto		10
		Medio		5
		Bajo		2

Fuente: (Greenleaf Ambiental, 2010)
Elaboración: Autor

3.4.3 Determinación de la Magnitud de Impactos.

Una vez analizado y valorado cada parámetro de la tabla 3, se procede al cálculo de la magnitud del impacto, que es el efecto de la acción, como resultado de la sumatoria acumulada de los valores obtenidos de las variables (I,E,D), donde cada variable se multiplica por un valor de peso asignado. Esto se indica en la ecuación 9 propuesta por (Greenleaf Ambiental, 2010):

$$Ma=(I*WI)+(E*WE)+(D*WD) \qquad \textit{Ecuación 9}$$

Dónde:

Ma: Valor calculado de la magnitud del impacto ambiental

I: Valor del criterio Intensidad.

WI: Peso del criterio Intensidad.

D: Valor del criterio Duración.

WD: Peso del criterio Duración.

E: Valor del criterio Extensión.

WE: Peso del criterio Extensión

Las ponderaciones para el cálculo de la magnitud se estimaron mediante el criterio de representatividad de cada variable. (Greenleaf Ambiental, 2010) propone los siguientes valores para los pesos:

WI=0.40 WE=0.40 WD=0.20

Se debe cumplir la siguiente condición: WI+WE+WD=1

3.4.4 Determinación del Valor del Índice Ambiental (VIA).

El valor del índice ambiental está en función de las características del impacto y se calcula mediante los valores de reversibilidad, incidencia y magnitud, parámetros también indicados en la tabla 4; los mismos que contienen valores exponenciales, que son valores de peso:

El Valor del índice Ambiental se lo obtiene con la resolución de la siguiente ecuación expuesta por (Greenleaf Ambiental, 2010):

$$VIA = (R^{Xr} * G^{Xg} * M^{Xm})$$ *Ecuación 10*

Valores de peso:

- *Peso del criterio de magnitud (Xm) = 0.61*
- *Peso del criterio reversibilidad (Xr) = 0.22*
- *Peso del criterio incidencia (Xg) = 0.17*

3.4.5 Determinación de la Severidad de Impactos.

La matriz resultante de este análisis se define como el nivel de impacto ocasionado sobre los factores ambientales; permite determinar si el impacto es leve, moderado, severo o crítico; para en función a eso analizar los impactos significativos y poder tomar las medidas pertinentes sobre las acciones producidas por el proyecto.

Según (Greenleaf Ambiental, 2010) la severidad de impactos (S) se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = Ma * VIA$$ *Ecuación 11*

Los impactos además se caracterizan mediante una escala de valores y para una mejor interpretación se catalogan por distintos colores. A continuación se detalla la tabla 5 de severidad de los impactos:

Tabla 5 Severidad de los impactos, escala de valores y descripción.

Severidad del impacto	Escala de valores	Descripción.
Leve	0 – 5	Recuperación inmediata luego de la acción. No se necesita aplicar prácticas mitigadoras.
Moderado	6 – 15	La recuperación de las condiciones iniciales requiere cierto tiempo. Se deben realizar prácticas de mitigación simples.
Severo	16 – 39	Para la recuperación de las condiciones se exige una adecuación de prácticas específicas de mitigación. La recuperación necesita de un tiempo extendido
Crítico	40 - 100	La magnitud del impacto es mayor al umbral aceptable. La recuperación de las condiciones iniciales es imposible, incluso con prácticas de mitigación.
Representativo	0 - 100	Impactos con carácter positivos, traen beneficios ambientales, sociales, económicos, técnicos

Fuente: (Greenleaf Ambiental, 2010)
Elaboración: Propia.

3.5 EVALUACIÓN SOCIAL.

Se realizó una Evaluación Social, como en todo proyecto productivo es indispensable este estudio para saber las amenazas o beneficios que representa a los involucrados al ejecutar el proyecto.

Esta evaluación se basa principalmente en encuestas dirigidas a las personas que se residen en las cercanías del proyecto ya que son ellos quienes aportan la información más acertada en cuanto a su percepción sobre este tema.

El análisis de las encuestas conforma la parte más sobresaliente de éste apartado ya que las mismas están dirigidas y fueron realizadas a una parte de la población de la parroquia Tomebamba que fue seleccionada como la muestra para este estudio.

Se realizó el cálculo de la muestra de la siguiente manera utilizando la ecuación 12:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2+\sigma^2 Z^2} \qquad \textit{Ecuación 12}$$

En donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

σ= Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se lo tiene, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Las encuestas se diseñaron partiendo del uso final que tendrá la energía producida por el sistema fotovoltaico, que en este caso es la de suministrar a un nodo de telecomunicaciones que permitirá el acceso a las personas al servicio de internet en su comunidad, de este modo se diseñaron preguntas con el fin de conocer su percepción a cerca de este servicio, las necesidades que tienen en cuanto al mismo y su opinión acerca del uso de energías renovables para este objetivo y además de manera general.

Las encuestas están diseñadas para conocer el nivel de aceptación que tienen las personas en cuanto a la implementación de nuevos métodos de generación de energía como son las renovables; además el alcance de las encuestas permite conocer cuáles son las necesidades de la población de este sector en cuanto a los servicios de internet que hoy en día son de suma importancia para todos, ya que sistema de energía que se estudia, fue diseñado para dar mayor oportunidad al mercado de las telecomunicaciones, específicamente para el servicio de internet en la comunidad.

A continuación se muestra la encuesta realizada a los moradores de la parroquia Tomebamba:

Encuesta sobre el uso de energía renovable como suministro eléctrico en el sector productivo

1- *¿Con qué fines usa el internet?*
   - *Comunicación con familiares y amigos*
   - *Consultas académicas*
   - *Con fines relacionados a su trabajo*
   - *Con fines informativos*
   - *Entretenimiento*

2- *¿Cuenta actualmente con servicio de internet?*
   Si
   No

3- *¿Estaría de acuerdo que en su comunidad existan más alternativas y facilidades de disponer de este servicio?*
   Si
   No

4- *¿Conoce sobre las energías renovables?*
   Si
   No

5- *¿Qué tipo de energías renovables conoce usted?*
   Solar
   Eólica
   Biomasa
   Hidráulica

6- *Estaría usted de acuerdo con que la energía que usan los equipos que hacen posible que usted disponga de internet sean de tipo renovables (Paneles solares)?*
   SI
   No

7- *¿Considera usted que en el caso de existir el potencial necesario, se deba explotar al máximo las energías renovables en su parroquia?*
   Si
   No

8- *¿Piensa usted que la utilización de paneles solares para la generación de energía representa algún problema o impacto negativo dentro de su parroquia?*
   Sí *No*

9- *¿Cuál es su percepción general a cerca de la utilización de paneles solares para la producción de energía eléctrica?*
   Está a favor
   Está en contra
   Neutral

CAPITULO 4

4 RESULTADOS Y DISCUCIÓN.

4.1 Resultados de la evaluación técnica

4.1.1 Resultado del modelo propuesto para el dimensionamiento del sistema aislado

4.1.1.1 Resultado del consumo energético.

Como se mencionó en el apartado de metodología, para conocer la demanda energética del Nodo de Telecomunicaciones, se llevaron a cabo dos actividades, la primera basada en las planillas mensuales del propietario, y la segunda mediante análisis de las fichas técnicas de los equipos del sistema.

4.1.1.1.1 Demanda resultante basado en las planillas CENTROSUR.

En resumen se ha generado la tabla 6 que detalla los valores de consumo y de valores a pagar:

Tabla 6 Consumo de energía y monto a pagar en las planillas por mes correspondiente al consumo de electricidad por parte del nodo de telecomunicaciones.

CONSUMO DE ENERGÍA (NODO DE TELECOMUNICACIONES)				
Fechas	**Consumo (kWh)**	**Valor sector eléctrico**	**Valor cuenta terceros**	**Valor total**
8/8/2017- 8/9/2017	38	$ 2.85	$ 1.88	$ 4.73
10/7/2017 - 8/8/2017	36	$ 2.75	$ 1.88	$ 4.63
9/5/2017 - 9/6/2017	42	$ 3.05	$ 1.88	$ 4.93
11/4/2017 - 9/5/2017	32	$ 2.04	$ 1.88	$ 3.92
8/3/2017 - 11/4/2017	38	$ 2.85	$ 1.88	$ 4.73
8/2/2017 - 8/3/2017	34	$ 2.64	$ 1.88	$ 4.52
9/1/2017 - 8/2/2017	31	$ 1.96	$ 1.88	$ 3.79
9/12/2016 - 9/1/2017	37	$ 2.80	$ 1.88	$ 4.63
10/11/2016 - 9/12/2016	31	$ 2.49	$ 1.88	$ 4.32
10/10/2016 - 10/11/2016	42	$ 3.05	$ 1.88	$ 4.88
Promedio consumo	**36.1**		**Promedio valor total**	**4.51**

Fuente: Centrosur
Elaboración: Autor

4.1.1.1.2 Demanda resultante basada en el consumo de los equipos del Nodo (Fichas técnicas).

Para obtener la demanda energética mediante esta metodología fue necesario aclarar de qué manera está conformado el Nodo de telecomunicaciones que se desea implementar, es por eso que se ha hecho un esquema que detalla la conformación de dicho Nodo.

En total los equipos principales que forman parte del Nodo de Telecomunicaciones son 10, a continuación se muestra el esquema de los equipos que conforman el nodo; y a continuación se detallan cada uno de ellos.

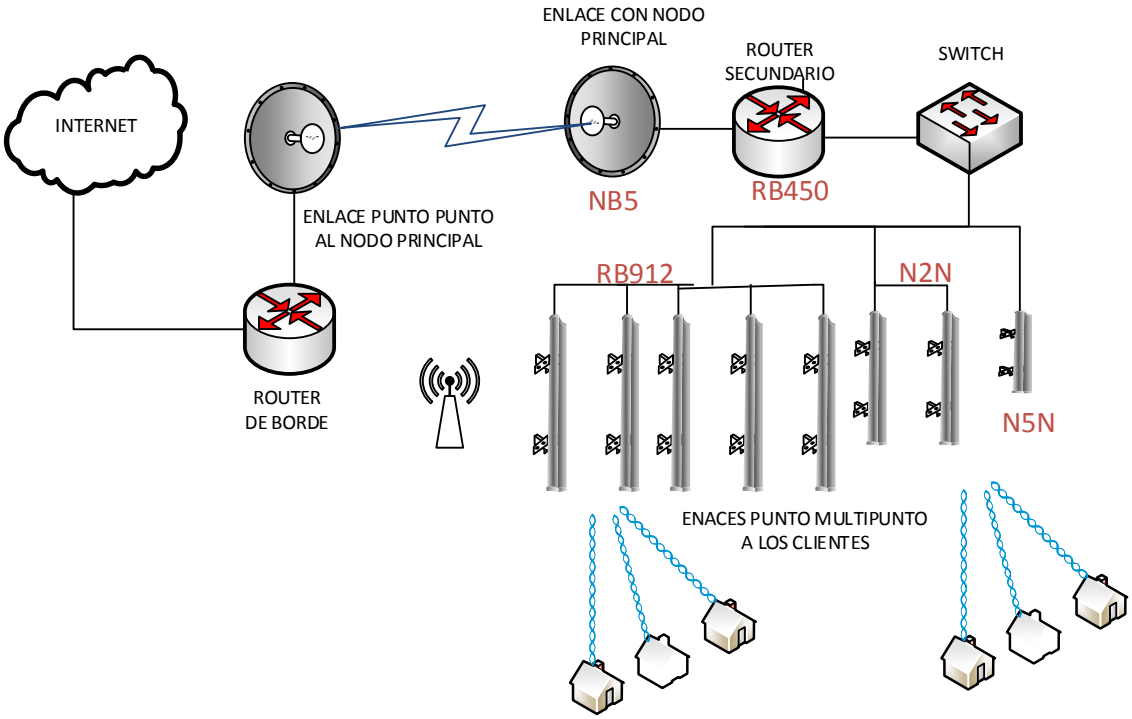


Figura 13 Equipos que conforman el nodo de telecomunicaciones.
Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

Tabla 7 Consumo energético de acuerdo a especificaciones en las fichas técnicas de los equipos que conforman el nodo de telecomunicaciones.

Cantidad	Tipo	Función	Consumo (w)
2	N2N	Distribución de señal a clientes	8
1	N5N	Distribución de señal a clientes	8
5	RB912	Distribución de señal a clientes	12
1	NB5	Conexión con Nodo Principal	5

1	RB450	Control de las comunicaciones en el Nodo	25
TOTAL			**58**
Consumo (kWh/mes) (Consumo=(TOTAL*24*30)/1000)			**41.76**

Fuente: PV Electrónica.
Elaboración: Autor

4.1.1.1.3 Comparación de resultados de la demanda energética del Nodo.

Los valores que corresponden al análisis por medio de las planillas Centrosur son muy parecidos en cuanto a los valores que resultaron del análisis de los equipos que conforman el nodo de telecomunicaciones.

Adicionalmente, se pudo constatar así, que no existen equipos ajenos al sistema que puedan consumir electricidad por lo que el Sistema de energía sólo servirá al Nodo de Telecomunicaciones, los valores teóricos son confiables y son similares a los valores que se muestra en las planillas de electricidad.

4.1.1.2 Resultados del recurso energético.

Cuando se realizó el reconocimiento e inspección del terreno y de la parroquia en la cual se emplazará el proyecto, se pudo evidenciar instantáneamente que la red de servicio público de electricidad no abastece a la zona del proyecto, por lo que brinda una primera noción de que el proyecto planteado es una buena alternativa para este fin productivo de telecomunicaciones.

Además se pudo evidenciar alrededor del sitio de estudio una gran cantidad de terrenos que son en su mayoría utilizados para la agricultura y para la ganadería. La producción agrícola del lugar es muy variada siendo una fuente importante de recursos alimenticios para las personas y animales del sector y también de pueblos o comunidades aledañas.

4.1.1.2.1 Factor Biomasa

En el lugar al tratarse de una zona rural que es conocida por su producción agrícola, se constató que existe el aporte de una gran cantidad de biomasa, misma que pudiera ser aprovechada para fines energéticos como el anhelado en este estudio, siendo ésta también considerada una fuente renovable de energía al tratarse de materia orgánica como su principal insumo.

Un ejemplo claro de lo anterior es la producción de caña de azúcar dentro de la parroquia y también a sus alrededores y de manera particular la producción es utilizada para la elaboración de licores. En la parroquia existen varias personas y familias que se han dedicado a esta labor, comenzando desde producción artesanal hasta llegar a producir licores a mayor escala, haciendo de esto una fuente considerable de ingresos monetarios.

El bagazo que es el residuo de la caña de azúcar tiene un poder calorífico que está alrededor de los 19200 KJ/kg dependiendo la especie, llegando a ser más eficiente que una de las fuentes de biomasa que se han usado y que se usan también hoy en día en grandes cantidades como lo es la leña (Garcés & Martínez, 2007).

Sin embargo cada kilogramo de bagazo tiene su función dentro de las mismas plantas de producción de licor, pues se utilizan como biocombustibles para los procesos de destilación.

4.1.1.2.2 Factor Hídrico

En el lugar existen además otras fuentes importantes que podrían ser aprovechadas como el recurso hídrico, el río Paute está atravesando la parte baja del sector por lo que pareciera una opción para generar energía a través del movimiento de turbinas para generación eléctrica, sin embargo la distancia que separa el río del lugar del proyecto es muy grande por lo que representaría costos considerables y el trabajo se vería además dificultado, además el río comienza a perder velocidad y por ende energía en ese sector debido a que no muy adelante se encuentran los embalses que aportan a las grandes hidroeléctricas de la parte sur del país.

4.1.1.2.3 Factor Solar y Eólico.

En cuanto a otras fuentes de generación de energía sobresalen la solar fotovoltaica y la eólica, que en muchos sectores de la producción son la primera opción a considerar si de energía renovable se trata.

El proyecto al estar ubicado en la zona alta de una colina presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de estas fuentes energéticass; se evidenció que el lugar se encuentra libre de barreras físicas como árboles o construcciones de cualquier tipo que puedan dificultar el aprovechamiento de estas fuentes de energía y por ende el rendimiento del sistema.

Además se inspeccionó también el lugar destinado para el proyecto con el fin de verificar si existe el área o el espacio necesario requerido para la instalación de sistemas solares o eólicos. De ésta manera se constató que en cuanto a este criterio no habría ningún problema pues el propietario del terreno cuenta con una extensión de aproximadamente unos 60 m^2 de terreno nivelado y estable.

Según la revisión de los documentos: el “Atlas Eólico del Ecuador” y el “Atlas Solar del Ecuador”, ambos elaborados con fines de generación eléctrica, se pudo evidenciar lo siguientes antecedentes:

4.1.1.2.4 Potencial solar fotovoltaico del sitio.

De acuerdo a la revisión del Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, se pudo evidenciar que en la provincia del Azuay se tienen valores que van desde los

4050 hasta los 4800 Wh/m^2/día en cuanto a la Insolación Global Promedio; tomando en cuenta los valores de la insolación global promedio de todo el Ecuador, se evidencia que la producción de radiación solar está por encima de la media que es 4574.99 Wh/m^2/día.

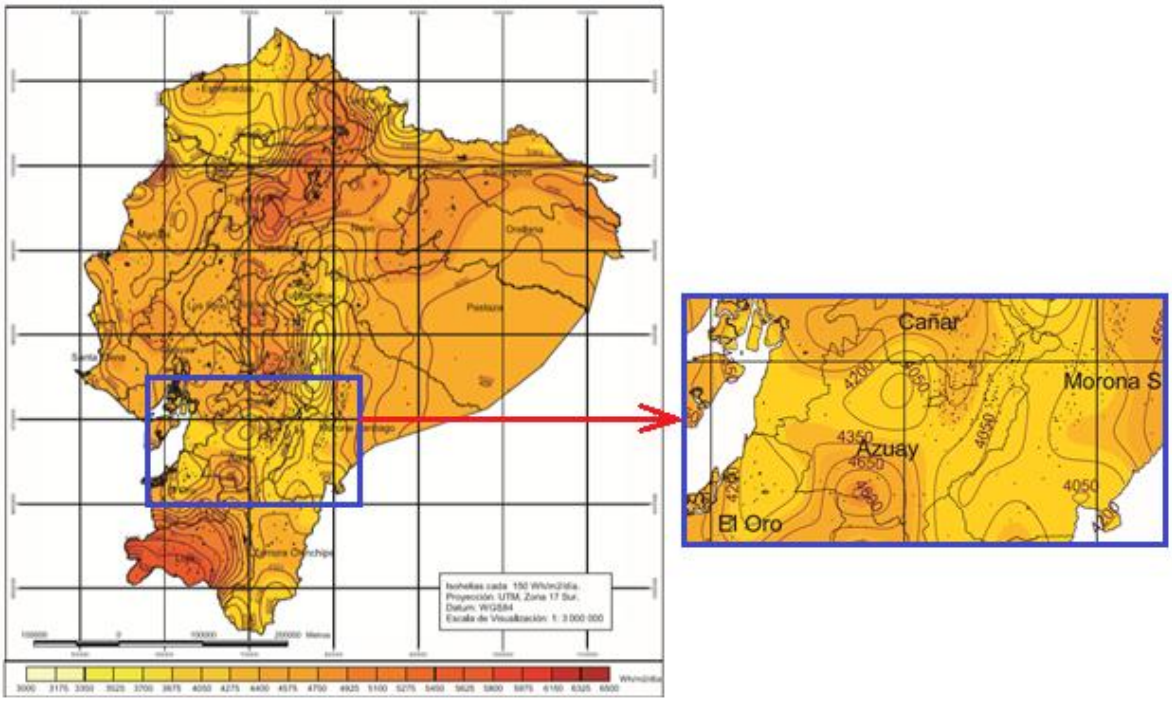


Figura 14 Mapa de Insolación Global Promedio (GHI) del Ecuador, resaltada la provincia del Azuay
Fuente: CONELEC, 2008
Elaboración: Modificación por el autor

4.1.1.2.5 Potencial eólico del sitio

En cuanto a la producción eólica, según la figura 15 del Atlas Eólico del Ecuador, en la provincia del Azuay existe mayor superficie aprovechable en el rango de velocidad de los 7 a 7,5 m/s, con un área de 62,16 km^2, y aunque existan lugares en los que la velocidad promedio sobrepasa los 8,5; la superficie que corresponde a estos valores es considerablemente menor; por lo que queda estipulado que en la provincia del Azuay existe una mayor superficie aprovechable con velocidades del viento bajas que oscilan entre los 7 y 7,5 m/s. (MEER, 2013)

	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
PROVINCIA	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
Carchi	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,60	13,80	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Imbabura	7,0 - 7,5	2,46	7,39	0,20	12,68	> 7	6,32	18,95	32,54
	7,5 - 8,0	1,75	5,24	0,25	11,26	> 7,5	3,86	11,57	24,83
	8,0 - 8,5	1,47	4,40	0,30	11,34	> 8	2,11	6,32	16,28
	> 8,5	0,64	1,92	0,35	5,77	> 8,5	0,64	1,92	5,77
Pichincha	6,5 - 7,0	0,39	1,16	0,20	1,99	> 6,5	41,19	123,58	212,18
	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,20	109,48	> 7	40,81	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,25	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,30	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
	> 8,5	2,47	7,40	0,35	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
Cotopaxi	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,20	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,80	2,40	0,30	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Tungurahua	6 - 6,5	4,48	13,44	0,20	23,08	> 6	5,34	16,02	27,51
	6,5 - 7,0	0,71	2,13	0,20	3,66	> 7	0,86	2,58	4,43
	7,0 - 7,5	0,15	0,45	0,25	0,97	> 7,5	0,15	0,45	0,97
Bolívar	7,0 - 7,5	1,02	3,05	0,20	5,23	> 7	2,42	7,27	12,49
	7,5 - 8,0	0,48	1,44	0,25	3,09	> 7,5	1,41	4,22	9,07
	8,0 - 8,5	0,48	1,44	0,30	3,71	> 8	0,93	2,78	7,17
	> 8,5	0,45	1,34	0,35	4,04	> 8,5	0,45	1,34	4,04
Chimborazo	7,0 - 7,5	14,97	44,91	0,20	77,10	> 7	30,60	91,80	157,62
	7,5 - 8,0	8,97	26,92	0,25	57,78	> 7,5	15,63	46,90	100,65
	8,0 - 8,5	4,58	13,75	0,30	35,42	> 8	6,66	19,97	51,44
	> 8,5	2,07	6,22	0,35	18,68	> 8,5	2,07	6,22	18,68
Cañar	7,0 - 7,5	11,50	34,49	0,20	59,21	> 7	23,95	71,85	123,36
	7,5 - 8,0	7,09	21,26	0,25	45,62	> 7,5	12,45	37,36	80,18
	8,0 - 8,5	3,16	9,47	0,30	24,39	> 8	5,37	16,10	41,48
	> 8,5	2,21	6,63	0,35	19,94	> 8,5	2,21	6,63	19,94
Azuay	7,0 - 7,5	62,16	186,47	0,20	320,17	> 7	98,25	294,75	506,07
	7,5 - 8,0	26,90	80,71	0,25	173,22	> 7,5	36,09	108,28	232,38
	8,0 - 8,5	7,16	21,47	0,30	55,29	> 8	9,19	27,56	70,99
	> 8,5	2,03	6,10	0,35	18,31	> 8,5	2,03	6,10	18,31
Loja	7,0 - 7,5	106,92	320,77	0,20	550,75	> 7	293,40	880,19	1511,26
	7,5 - 8,0	69,46	208,39	0,25	447,25	> 7,5	186,47	559,42	1200,64
	8,0 - 8,5	43,76	131,27	0,30	338,07	> 8	117,01	351,03	904,06
	> 8,5	73,25	219,76	0,35	660,32	> 8,5	73,25	219,76	660,32

Figura 15 Potencial eólico - eléctrico estimado de la región Sierra del Ecuador.
Fuente: MEER, 2013

4.1.1.2.6 Potencial eólico energético instalable

De acuerdo a la revisión del Atlas Eólico del Ecuador con fines de Generación eléctrica, se pudo evidenciar que en la provincia del Azuay existe un potencial energético instalable de 294.75 MW, con una generación de energía de 506.07 GWh/año; con valores del viento en el rango de los 7-7,5 m/s. (MEER, 2013)

Según se ve en el mapa obtenido del Atlas Eólico del Ecuador, figura 16, el potencial Eólico - Eléctrico es grande, siendo solo superada por la provincia de Loja, que comprende valores mucho más elevados con valores de 880MW de potencial energético instalable y 1511.26 GWh/año de generación. (MEER, 2013)

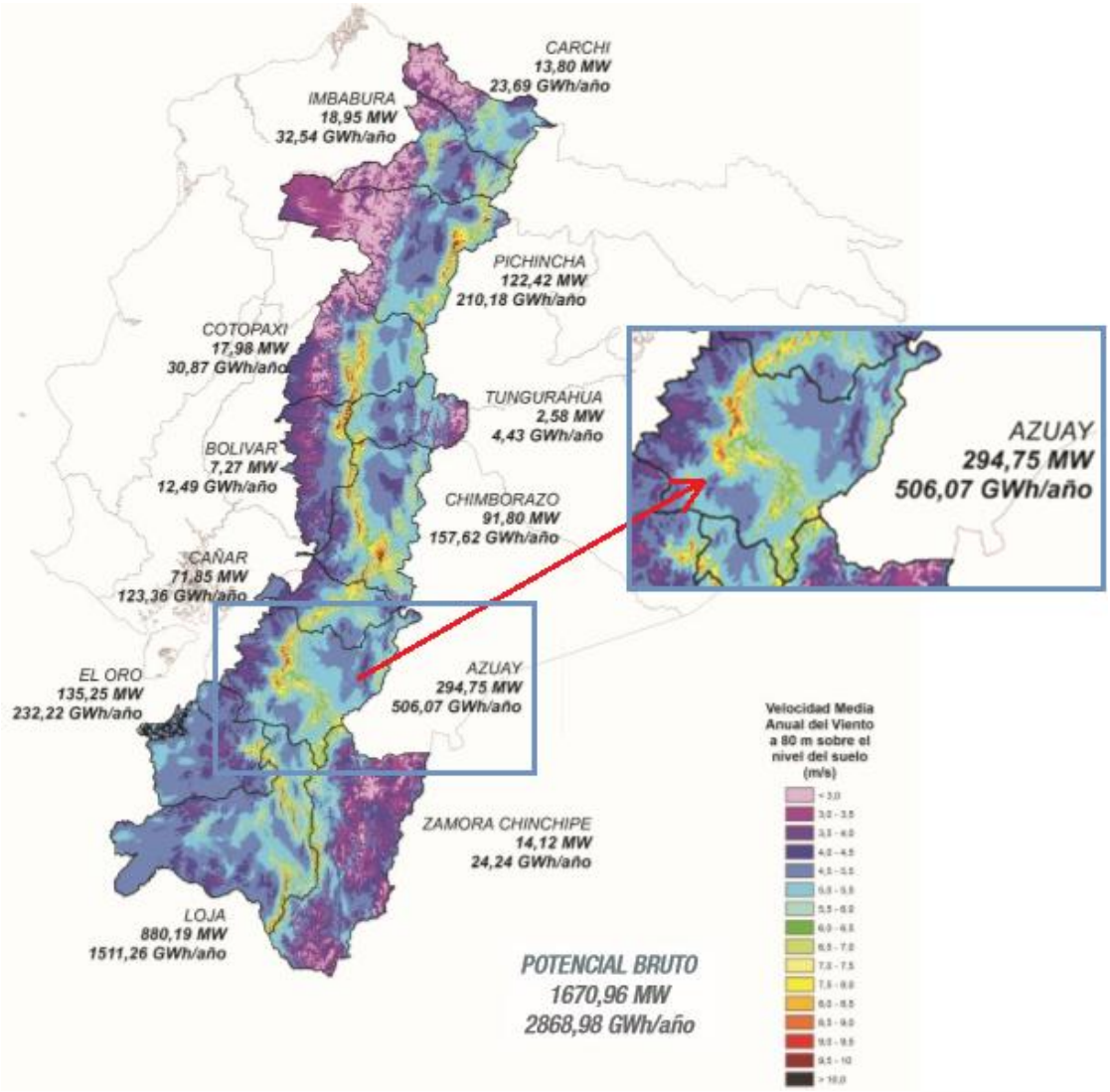


Figura 16 Mapa de potencial eólico - eléctrico del Ecuador.
Fuente: MEER, 2013
Elaboración: Modificación por el autor

4.1.1.3 Selección del sistema adecuado.

Con la recopilación de datos acerca del sitio de estudio, la demanda energética y los valores de del recurso energético disponible, fue escogido el sistema acorde a todas los criterios que fueron detallados en el apartado de metodología. En la tabla 8, se muestran las diferentes fuentes energéticas consideradas en el sitio de estudio, con su respectivo análisis en forma resumida.

Tabla 8 Aspectos positivos y negativos de las fuentes energéticas analizadas

Fuente energética	Puntos fuertes, ventajas y fortalezas.	Puntos débiles, desventajas y riesgos.
Biomasa	Grandes cantidades de bagazo como subproducto en la zona. Presenta competitividad frente a los combustibles fósiles.	El bagazo se utiliza en procesos de destilación de alcohol etílico. Puede emitir partículas en la combustión. Gastos por mantenimiento y operación.
Hídrica	Tecnología muy conocida en nuestro medio. Presenta competitividad frente a los combustibles fósiles.	Grandes distancias entre el lugar del proyecto y los cuerpos de agua existentes. Pérdida de velocidad de corriente del río debido a los embalses cercanos.
Eólica	Ausencia de barreras físicas. Valores altos de producción eólica en la provincia. Valores de potencia instalable buenos en la provincia en comparación al resto del Ecuador. Disponibilidad de espacio para instalar un generador eólico. Tecnologías muy desarrolladas. Presenta competitividad frente a los combustibles fósiles.	Los valores altos de producción eólica están dentro de pequeñas áreas dentro de la provincia. La velocidad del viento en el sitio de acuerdo al software SAM es de 2.3 m/s, siendo un valor muy bajo y en muchos catálogos de generadores eólicos esta velocidad es menor a la que necesitan las turbinas para empezar a girar.
Solar fotovoltaica	Ausencia de barreras físicas y por ende de sombras. Valores altos de radiación global horizontal en la provincia. Disponibilidad de espacio para instalar un generador fotovoltaico. Poco mantenimiento. Reducción de costos por mantenimiento y operación. Tecnologías muy desarrolladas. Presenta competitividad frente a los combustibles fósiles.	Valores obtenidos a partir de extrapolaciones por ende son valores aproximados y no los reales del sitio específico del sector. La meteorología cambiante de la región y la provincia hacen que la producción de energía también sea fluctuante.

Fuente y elaboración: Autor

Analizando los criterios de la tabla 8, se evidencia que todas tienen aspectos positivos y negativos; sin embargo la diferencia entre ellas radica en analizar cuál de estas se puede aprovechar de una mejor manera; además que aspectos negativos o debilidades se pueden superar con facilidad.

En este caso, la fuente energética escogida fue la solar fotovoltaica, puesto que presenta las mejores oportunidades de aprovechamiento, por otra parte las debilidades que se presentan con relación a esta fuente energética, son más bien condiciones que normalmente existen en diversos lugares de estudio, por lo que con un buen dimensionamiento y realizadas las simulaciones pertinentes se puede aprovechar al máximo este recurso renovable.

4.1.1.4 Resultado del dimensionado del generador fotovoltaico.

A continuación se detallan las variables necesarias que fueron obtenidas para poder dimensionar el generador fotovoltaico.

Irradiación Global Horizontal (GHI).

Mediante el software de simulación SAM, se obtuvieron los datos necesarios en cuanto a producción solar para la zona de estudio, a continuación se puede ver en la tabla los valores exactos de la irradiación por meses y mediante la gráfica se pueden apreciar las variaciones de GHI, específicamente de Irradiación de plano de matriz (POA), en todos los meses del año.

Cabe recalcar que los valores que se presentan en la tabla 9 y en la figura 17, son de la irradiación POA, que es la radiación global horizontal que incluye ya y toman en cuenta los diversos factores como estimaciones de la reflectividad del terreno (albedo), irradiancia difusa, orientación de la matriz y sombras. (PVPMC, 2014)

Tabla 9 Irradiación POA para el año 2014 por meses en la zona de estudio.

Meses	Irradiación POA (kWh/mes)
enero	314.183
febrero	235.036
marzo	205.812
abril	155.539
mayo	301.173
junio	167.729
julio	236.896
agosto	179.509
septiembre	294.003
octubre	263.04
noviembre	297.134
diciembre	331.414

Fuente: SAM 2017
Elaboración: Autor

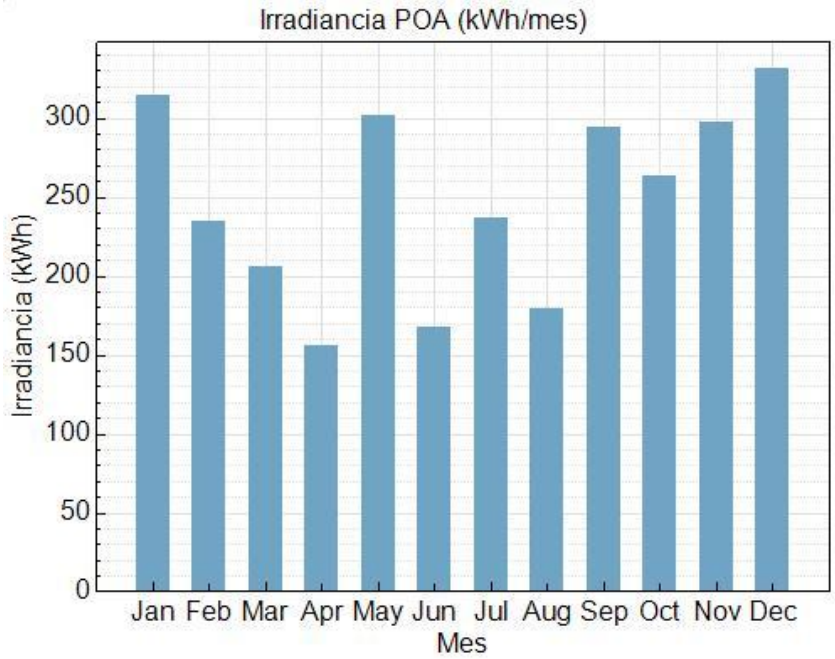


Figura 17 Irradiación POA para el año 2014 en la zona de estudio.
Fuente: SAM 2017
Elaboración: Autor

Así, según se puede ver en la tabla y en la gráfica, en el mes de abril se tienen menores cantidades de irradiación. Por lo tanto para realizar un correcto dimensionamiento se tomó en cuenta los 155.539 kWh/mes producidos en la zona que representan la menor producción del año en cuanto a recurso solar; y así con este sistema ajustado al peor de los casos se puede dimensionar un sistema robusto que sea confiable y seguro.

Valor del consumo energético total del Nodo de telecomunicaciones.

Se constató por los cálculos antes realizados que el consumo máximo del Nodo de Telecomunicaciones es de 41.76 kWh/mes, y los valores máximos de consumo mostrados en las planillas es de 45 kWh/mes, por lo que el sistema de energía a usar tiene que abastecer mensualmente un mínimo de 45kWh/mes.

Dimensionamiento de los equipos del sistema fotovoltaico.

En el dimensionamiento se calcularon los equipos y la configuración de los mismos en cuanto a las necesidades energéticas y a la producción del recurso solar en la zona de estudio. Las celdas solares ATERSA A-250P y las baterías NGA6060200HS0FA de la marca SONNENSCHEIN, fueron escogidas con anticipación y sus especificaciones (anexo 2 y 3), fueron utilizadas para obtener el número de ejemplares necesarios. Por otra parte el inversor y el regulador de carga (anexo 4 y 5), fueron seleccionados posteriormente acorde a las necesidades del sistema.

4.1.1.4.1 Dimensionamiento del Generador fotovoltaico.

Un generador fotovoltaico consta de uno o varios paneles solares los cuales van interconectados ya sea con configuración en serie o paralelo. En el presente trabajo se determinó el número de paneles solares necesarios de acuerdo al consumo energético y a la producción solar. Es preciso especificar que se seleccionó con anticipación el modelo de panel solar fotovoltaico ATERSA A-250P, el cual es un ejemplar del tipo policristalino.

Adicionalmente, con este modelo de panel solar se dimensionó el generador fotovoltaico acorde a sus especificaciones y al aporte energético de la zona.

Conociendo los valores de requerimiento energético del nodo de telecomunicaciones, la producción solar aprovechable y las especificaciones del panel solar e inversor a utilizar se pudo obtener que:

- *GHI =Irradiación POA= 155.539 kWh/mes (mínimo valor obtenido en el mes de abril)*
- *Eficiencia del módulo solar (eMS) = 15.35%*
- *Eficiencia del inversor (eI) = 90%*
- *Área del módulo solar (Ams) = 1,7m^2*
- *Energía total requerida (ET) = 45kW/mes*

Por lo que según la expresión, la irradiación aprovechable es la siguiente:

$$IGa = POA * eMS * eI$$

$$IGa = 155.539\ kWh/mes * 0.1535 * 0.9$$

$$IGa = 21.49\ kWh/mes$$

El valor de GIa hace referencia a la irradiación aprovechable según las condiciones del lugar tomando en cuenta las pérdidas por el panel fotovoltaico y el inversor.

Posteriormente se presenta el número de paneles solares necesarios en función al valor de GIa y al requerimiento energético del nodo de telecomunicaciones, teniendo en cuenta que los valores de estos dos parámetros anteriormente nombrados son referentes a un metro cuadrado de medición.

Mediante la expresión planteada se obtuvo que:

$$NT = \frac{ET}{IGa * Ams}$$

$$NT = \frac{45kWh/mes}{21.49\ kWh/mes * 1.7m^2}$$

$$NT = 1.23$$

Mediante la expresión anterior se obtuvo que n=1,23; por lo que el número real de paneles solares necesarios para alimentar al nodo de telecomunicaciones es 2, ya que este es el número entero que corresponde al inmediato superior del valor resultante.

La conexión realizada se simuló además en el Software SAM en el cual se pudo constatar que en la configuración realizada en paralelo se obtienen mayores valores de potencia (Watts), siendo esto beneficioso ya que a mayor potencia mejor aprovechamiento del sistema y mejora el rendimiento del mismo.

La potencia de salida del sistema está en función al producto del voltaje y la intensidad con valores de 29.35V y 8.45A por lo que es conveniente utilizar la conexión el paralelo para que el voltaje del sistema se incremente y consecuentemente también la potencia de salida del mismo.

4.1.1.5 Resultado del dimensionado del sistema de almacenamiento de energía.

El sistema de almacenamiento de energía para el presente proyecto, quedó dimensionado acorde a las expresiones señaladas en el apartado de metodología, aportando los resultados acorde a las necesidades energéticas del sistema:

Se seleccionó un tipo de baterías de la marca “SONNENSCHEIN”, cuyo voltaje nominal y capacidad nominal es de 6 V y 182 Ah respectivamente, con estos datos del fabricante se dimensionó el sistema de la siguiente manera:

- *Consumo energético instantáneo (CEI) = 58W*

$$NA\ (Wh) = {(CEI * 24h * DA)}/{Pd}$$

$$NA\ (Wh) = {(58\ W * 24h * 3)}/{0.8}$$

$$NA\ (Wh) = 5220\ Wh = 5{,}222\ kWh$$

$$Cm\ (Ah) = {NA\ (Wh)}/{V\ bat}$$

$$Cm\ (Ah) = \frac{5{,}222\ kWh}{30\ V}$$

$$Cm\ (Ah) = 174\ Ah$$

Se utilizaron 5 baterías conectadas en serie para completar el banco de almacenamiento, y no se necesitaría conectar en ninguna en paralelo porque la carga mínima que soportan las baterías es de 128Ah siendo este un valor mayor al requerido que es de 174Ah.

Adicionalmente, fue preciso hallar un factor (f) que indique la capacidad de las baterías, dicho de otra forma que represente la máxima capacidad de descarga del banco de baterías para que éste trabaje correctamente sobre esta capacidad y no afecte la vida útil del sistema de almacenamiento; aquí se tomaron en cuenta los valores correspondientes al consumo energético instantáneo la máxima profundidad de descarga y los días de autonomía.

El factor (f) fue hallado de la siguiente manera:

$Consumo\ instantáneo * horas\ de\ autonomía * f = máxima\ prof\ de\ descarga$ [3]

$$f = \frac{máxima\ profundidad\ de\ descarga}{consumo\ instantáneo * horas\ de\ autonomía}$$ *Ecuación 13*

Sustituyendo los valores de máxima profundidad de descarga (80%), consumo instantáneo (58W) y 72 horas correspondientes a tres días de autonomía resulta:

$$f = \frac{80\%}{58W\ * 72h}$$

$$f = \frac{5}{261} = 0.0191$$

Para conseguir un factor representativo se sacó la inversa del resultado anterior para considerar de ese modo todos los decimales:

$$f = \frac{1}{52.2}$$

El factor f se lo utilizó luego al momento de la simulación en SIMULINK para considerar la capacidad de la batería y así dimensionarlo bajo estas condiciones con el objetivo de preservar el correcto funcionamiento de las baterías y para que su vida útil no se vea afectada.

4.1.1.6 Resultados del dimensionamiento del regulador DC/DC

La corriente mínima que debe soportar el regulador de carga DC/DC se obtuvo mediante la siguiente expresión señalada en el apartado de metodología:

$I_{máx}$: Isc * Np

$I_{máx}$ = 8,91 A * 2

$I_{máx}$ = 17,82 A

Así, la corriente mínima que debe soportar el regulador de carga, será de 17,82 A por lo que se recomendará adquirir un equipo que soporte esta carga o superior para que el sistema sea confiable y robusto.

El equipo seleccionado fue el MPPT Solar Charge Controller 30A 12V/24V, cuyas especificaciones se muestran en el *anexo 5.*

4.1.1.7 Resultados del dimensionamiento del inversor DC/AC.

El inversor a utilizar se relaciona directamente con la potencia demandada por el sistema de telecomunicaciones, así mismo tiene gran influencia el factor de funcionamiento que indica el lapso de tiempo que operan los equipos, en este caso se definió que los equipos funcionan a todas horas por lo que el factor de funcionamiento es 1.

---

[3] La Ecuación 13 fue propuesta por el autor con la asesoría del Ing. Luis G. Gonzáles, Phd. Investigador Prometeo y asesor del trabajo de titulación.

Así, con el máximo de consumo instantáneo mostrado en la tabla 7, queda estipulado que el inversor a utilizar debe soportar potencias mínimas de 58 W. El equipo seleccionado fue el 300W - 24V Pure Sine Wave Sunshine Power Inverter, cuyas especificaciones se muestran en el *anexo 4.*

4.1.2 Resultados del rendimiento energético del sistema aislado mediante SAM.

Luego de conocer el consumo energético, los datos necesarios del recurso energético, además las características, especificaciones y configuraciones de los equipos a usar en el proyecto, se está ya en condiciones de simular el rendimiento del sistema energético; de esta manera se pudo evidenciar la capacidad energética de la zona, el aporte energético para el sistema fotovoltaico, las pérdidas ocasionadas por los distintos factores externos y otras variables de interés.

El rendimiento del sistema se muestra en la figura 18, la cual muestra un aproximado mensual del aporte energético que podrá ser aprovechado para alimentar cualquier sistema que requiera de energía eléctrica, como es el caso del presente estudio al tratarse de un nodo de telecomunicaciones.

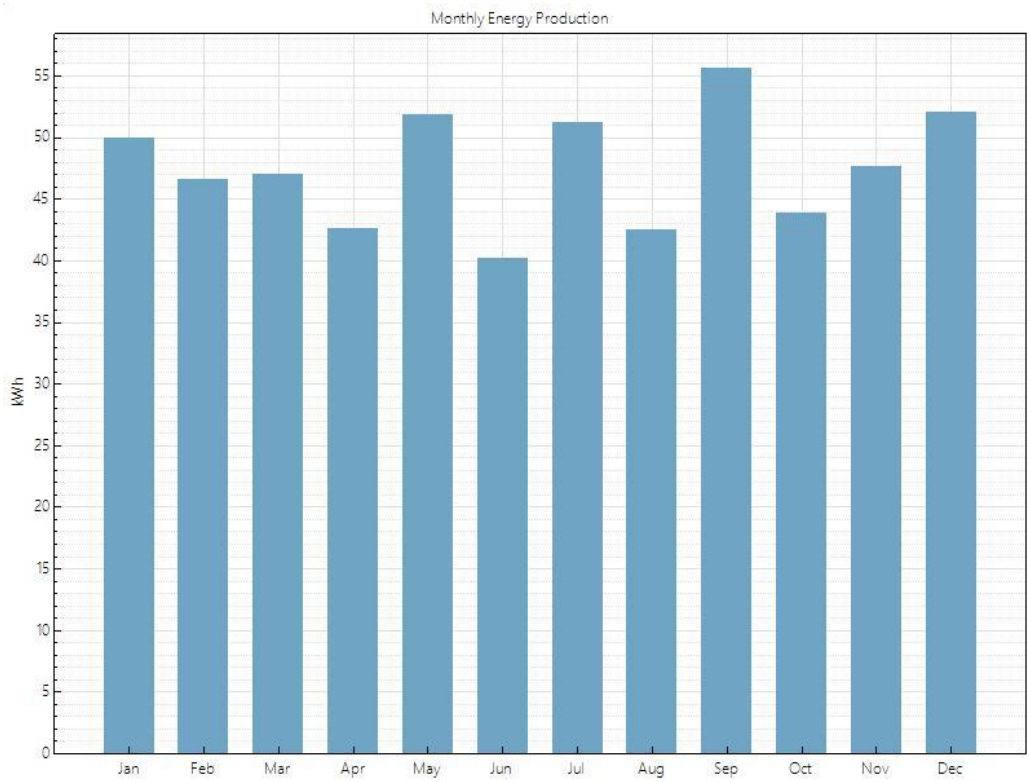


Figura 18 Aporte energético del sistema resultado de la simulación de rendimiento en SAM 2017
Fuente: SAM, 2017
Fuente: Autor

La figura 18 representa la producción energética del sistema aislado propuesto, muestra mensualmente la capacidad que tendrá el mismo de aportar energía, tomando en cuenta ya las pérdidas en todo el proceso que involucra, puesto que ya se

consideró la eficiencia de los paneles solares, la eficiencia de los equipos de conversión de energía, las pérdidas por sombras y demás variables meteorológicas, y las pérdidas existentes en las conexiones y el cableado.

Como se puede apreciar, el valor mínimo de producción energética del proyecto corresponde al mes de junio con un aporte de 40 kWh, así mismo el mes en donde se muestra un mayor aporte es septiembre con 55 kWh; los meses restantes están comprendidos entre este rango y en su mayoría se acercan al límite superior.

Haciendo un contraste con la energía requerida para el funcionamiento del nodo de telecomunicaciones el cual es de 41,76 kW/mes según lo calculado; los valores de producción energética abastecerían a los 11 meses del año siendo el único que se excluye el mes de junio con un aporte de 40 kWh. Sin embargo los meses restantes muestran una producción por encima de los valores de la energía requerida, dando así la opción de trabajar con un sistema de almacenamiento de energía que suministre la misma en los meses de poca producción energética.

Pérdidas

Así mismo se pudo obtener un estimado de las pérdidas de energía en el sistema a implementar, en la figura 19, se puede evidenciar las causas de dichas pérdidas y el porcentaje de cada una de ellas, evidenciándose claramente las más representativas para el presente proyecto.

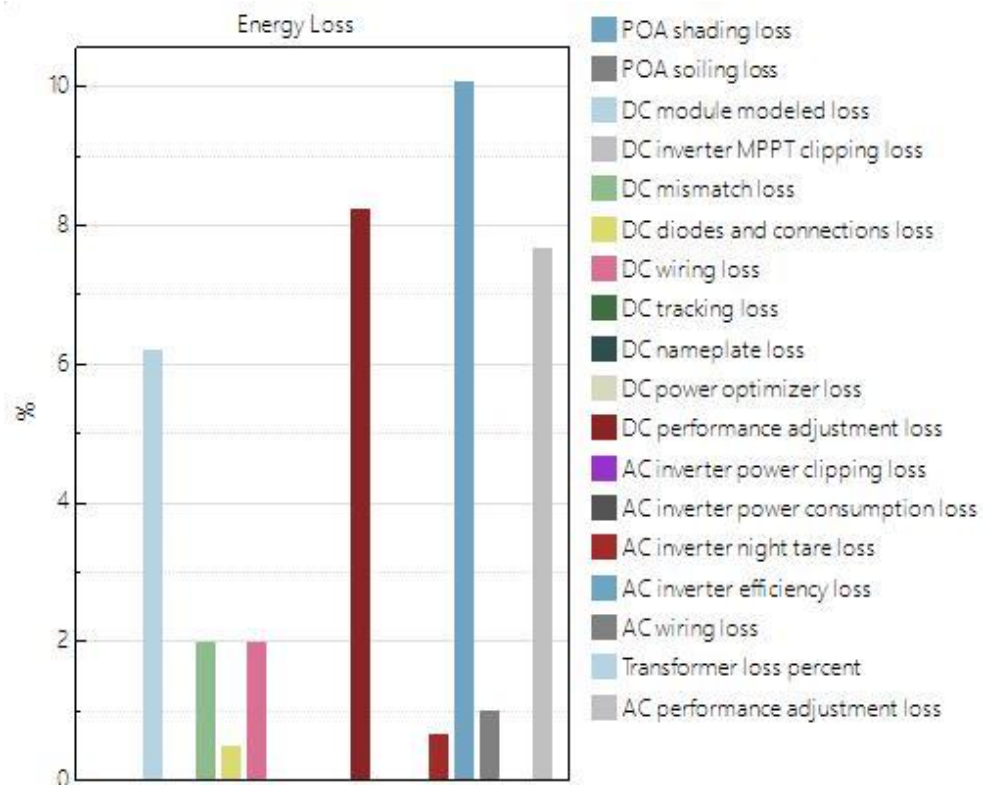


Figura 19 Estimación de las pérdidas del sistema fotovoltaico mediante SAM.
Fuente: SAM 2017
Elaboración: Autor

Como se observa en la figura 19, las pérdidas energéticas más representativas corresponden a la eficiencia del inversor utilizado en este dimensionamiento con valores alrededor del 10%, seguido de las pérdidas de ajuste de rendimiento DC y AC correspondientes a los equipos de conversión y control de la corriente, ambas con un porcentaje cercano al 8%, además existen pérdidas en el modelado de los módulos con valores cercanos al 6% y en menor parte e inferiores a un 2% las pérdidas corresponden a otros aspectos que tienen que ver con las conexiones y el cableado para la instalación del sistema.

4.1.3 Resultados de la simulación en SIMULINK

Una vez realizado el dimensionado del sistema fotovoltaico con ayuda del software SAM 2017, se obtuvo el rendimiento del sistema en cuanto a producción energética, además se pudo evidenciar que el sistema requiere de un banco de baterías que aporte la energía necesaria almacenada en los días o en el tiempo en donde las condiciones sean desfavorables para la producción energética.

El diseño de la simulación mediante SIMULINK se realizó para estudiar dos parámetros importantes al momento de considerar el banco de baterías, el aporte energético y el estado de la carga (SOC).

Para esto fue necesario obtener los valores de la irradiación en el plano de matriz (POA), de todos los meses de un año; El software SAM 2017 registra estos valores en intervalos de tiempo muy cortos, de este modo se pudo desglosar una tabla con valores que corresponden a la irradiación tomada en cada hora durante todos los meses del año.

Los datos más actualizados de irradiación en el plano de matriz (POA), corresponden al año 2014, por lo que se tomaron dichos datos para trabajar con la simulación y analizar la rentabilidad técnica del proyecto.

Los bloques o herramientas utilizadas en el presente sistema de simulación fueron seleccionados acorde a las necesidades, las características de cada equipo fueron añadidas previa revisión de catálogos y cálculos.

En el sistema de simulación se puede evidenciar el aporte energético el cual está conformado por un subsistema, el cual se muestra en la figura 20 en la sección b, en donde se introdujo las cantidades de irradiación en formato (.slsx), además se tomó en cuenta el área de captación total de los paneles (3,4m^2) la eficiencia de los módulos (0.145); así mismo en el sistema se incluyó la eficiencia del inversor de corriente (0.9) y el consumo en vatios instantáneos (58W) lo cual resta energía dejando pasar solamente la sobrante para su almacenamiento. Adicionalmente se evidencia también

la adición del parámetro ***f*** el cual indica el valor máximo de descarga de las baterías, así mismo se incluyen los límites de la batería desde 0 hasta 100.

Sistema de simulación del proyecto.

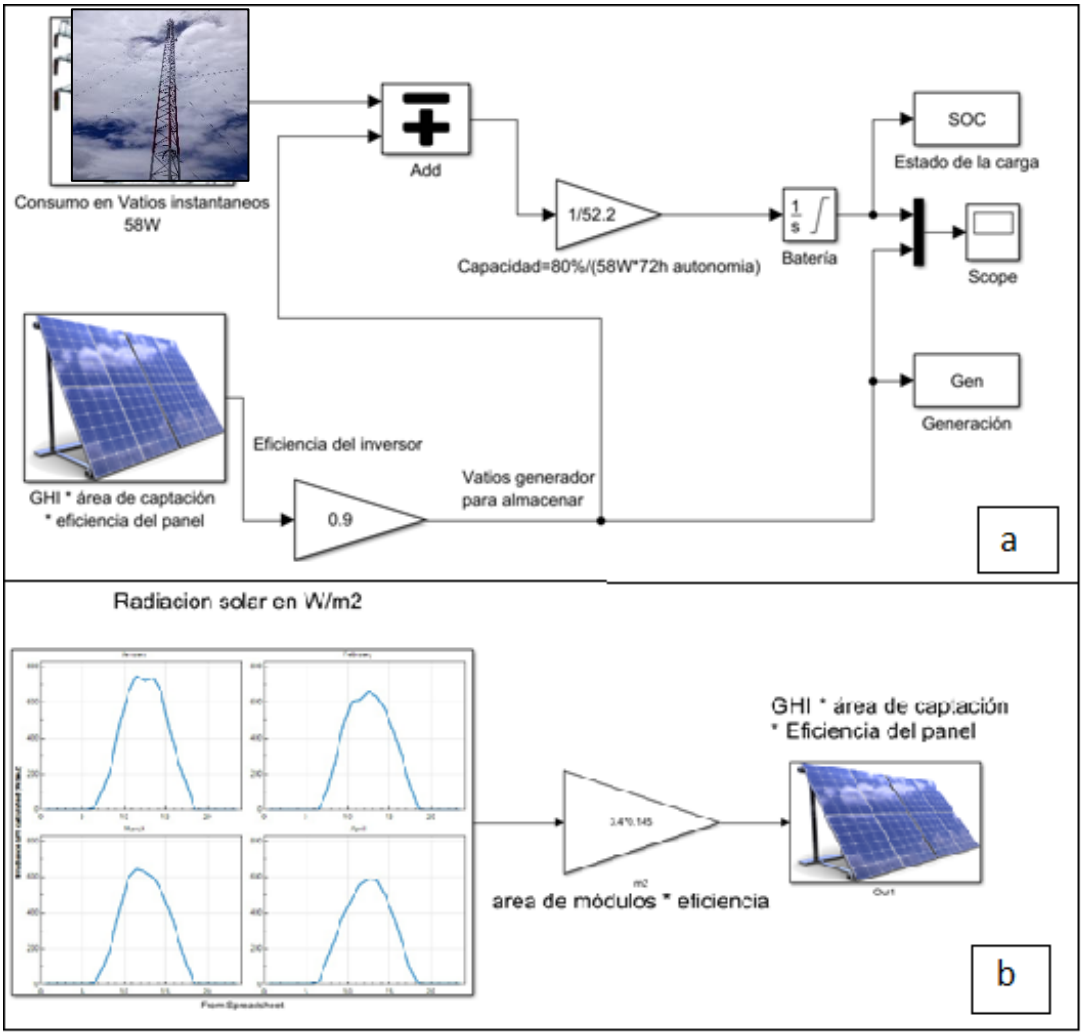


Figura 20 Simulación del sistema fotovoltaico con el banco de baterías: a) Sistema completo b) Subsistema de captación de energía.
Elaboración: Autor

Consecuentemente una vez ya realizada la programación del sistema, se obtuvieron las curvas correspondientes a la generación de energía eléctrica y al estado de carga de las baterías (SOC), cabe recalcar que se ha tomado como 20% el estado de carga inicial para observar el comportamiento de la línea SOC, partiendo de la condición límite en el cual las baterías operan con normalidad sin comprometer su vida útil y además para analizar el lapso de tiempo que ocupa para volver a cargarse hasta llegar a condiciones aceptables. A continuación se muestran las figuras resultantes para todos los meses del año 2014.

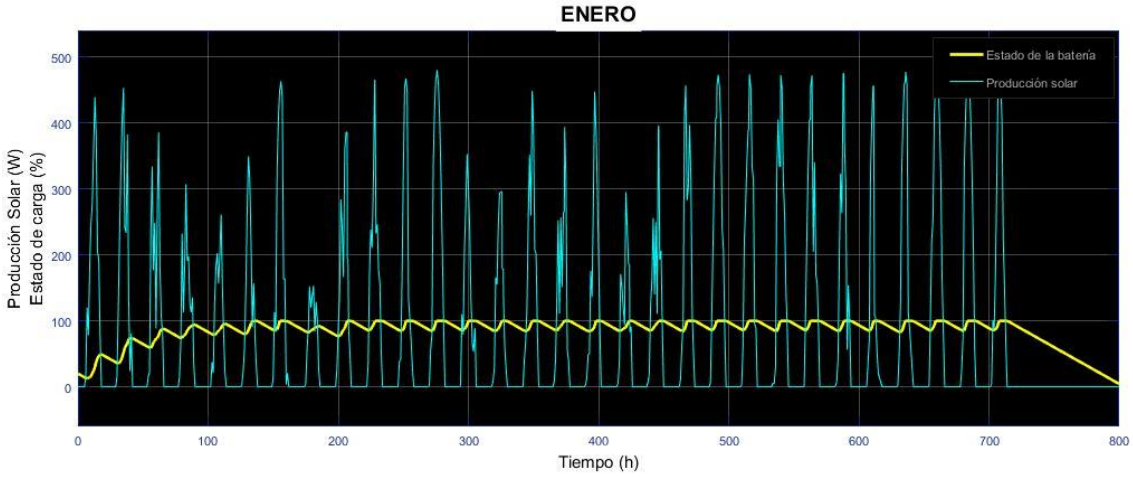


Figura 21 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para enero de 2014.
Elaboración: Autor

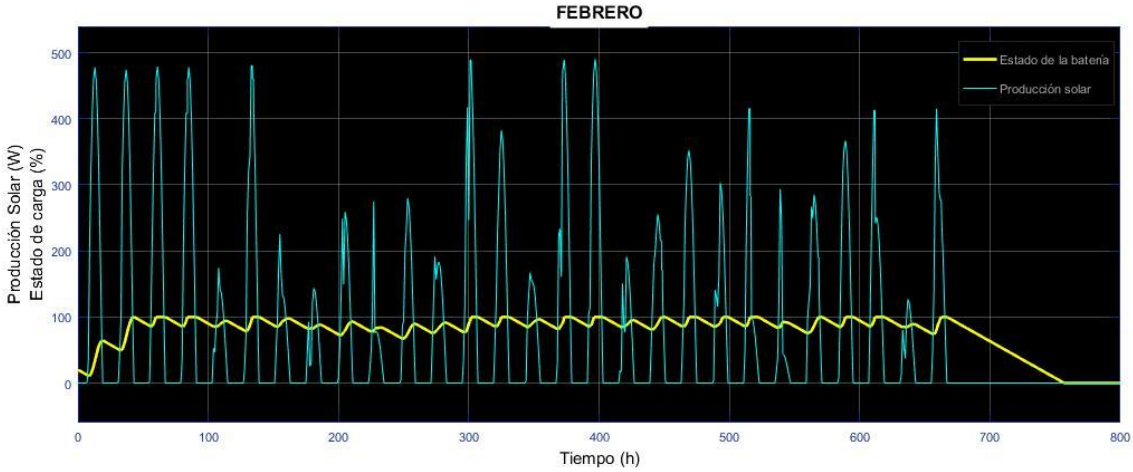


Figura 22 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para febrero de 2014
Elaboración: Autor

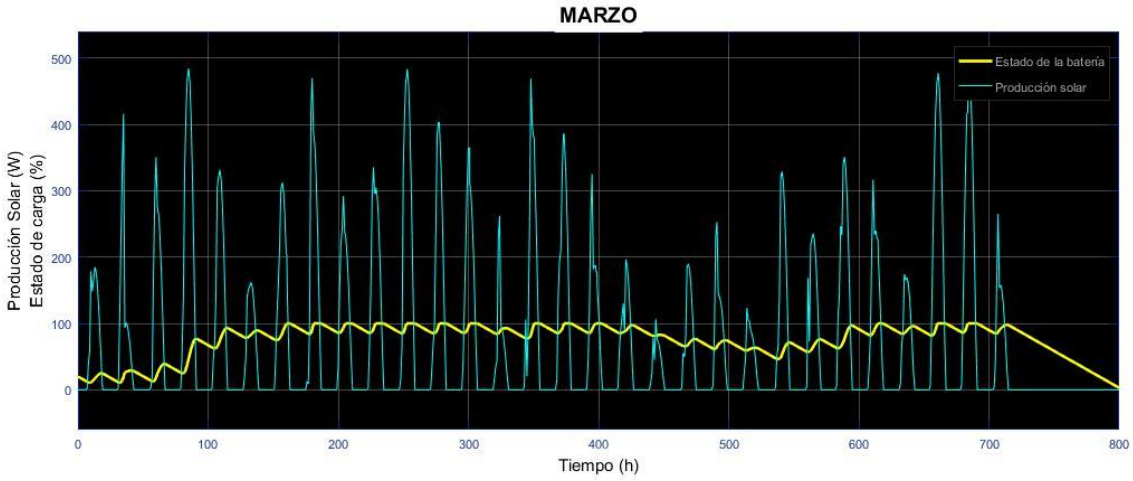


Figura 23 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para marzo de 2014.
Elaboración: Autor

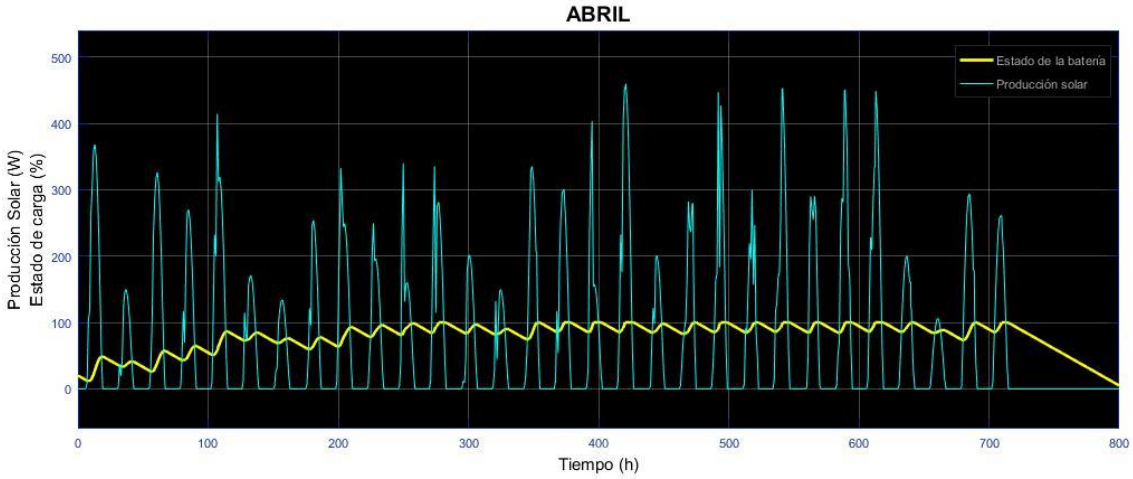


Figura 24 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para abril de 2014.
Elaboración: Autor

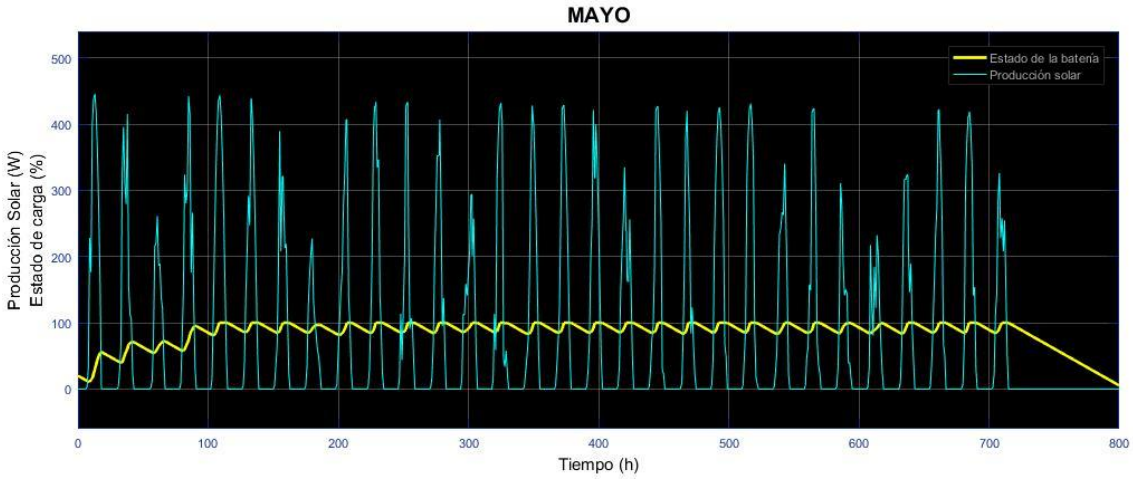


Figura 25 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para mayo de 2014.
Elaboración: Autor

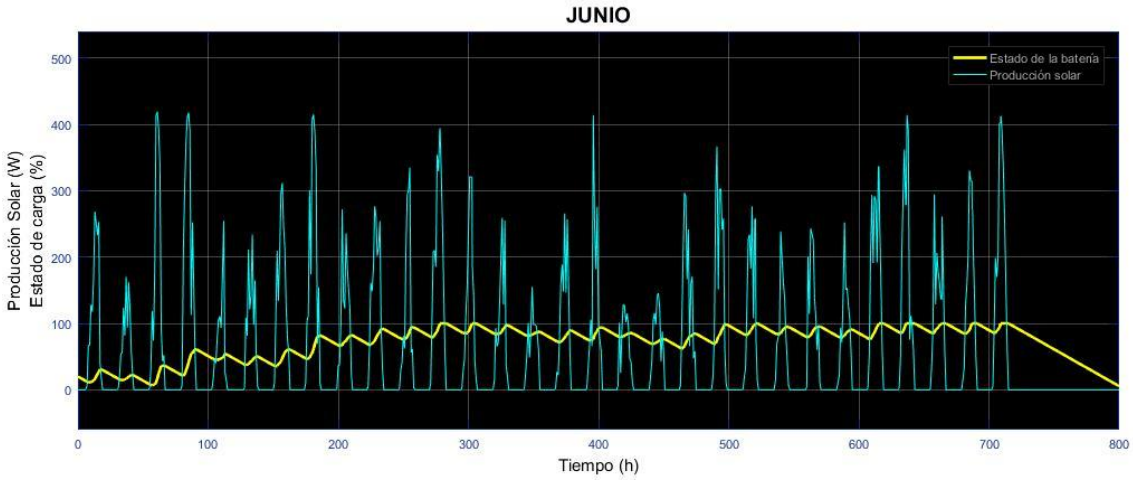


Figura 26 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para junio de 2014.
Elaboración: Autor

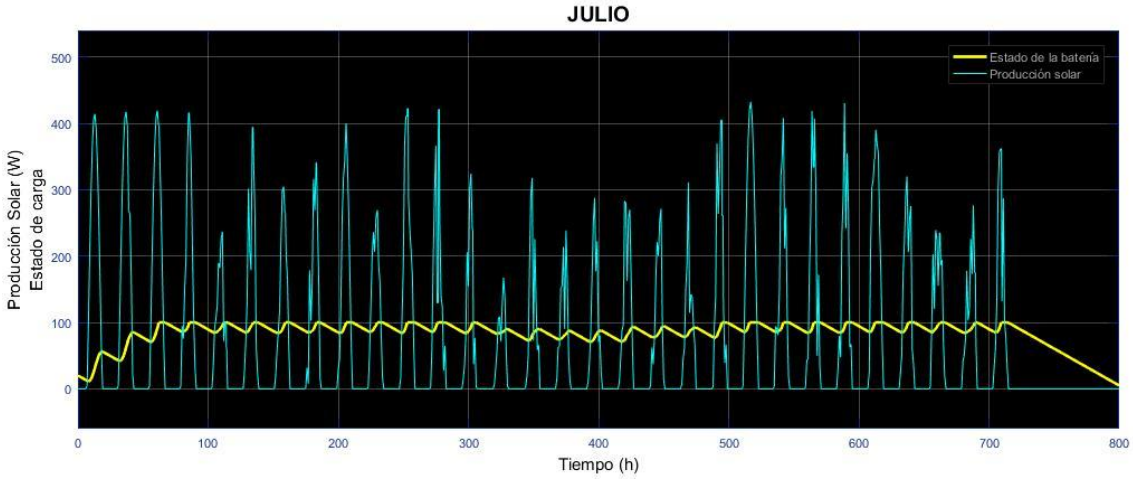


Figura 27 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para julio de 2014.
Elaboración: Autor

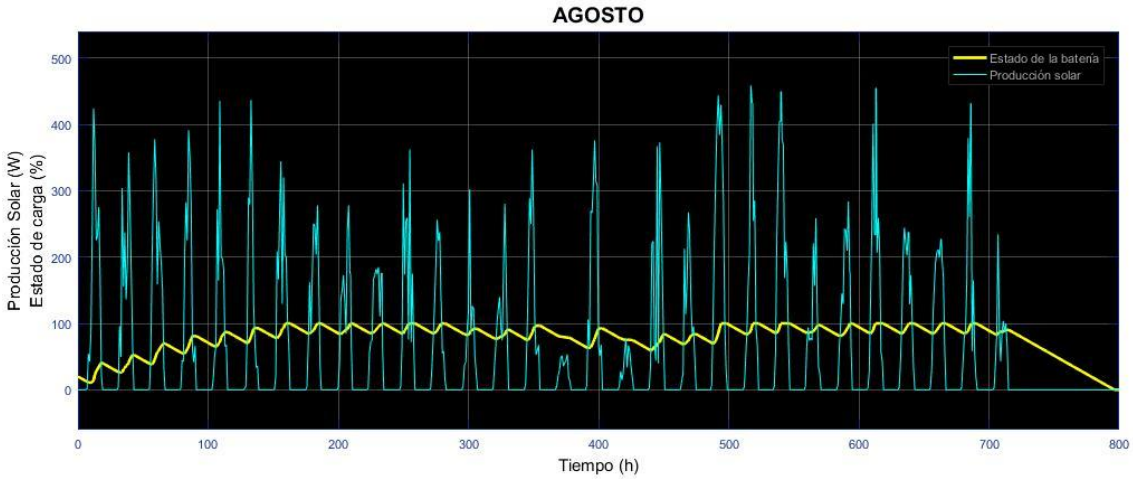


Figura 28 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para agosto de 2014.
Elaboración: Autor

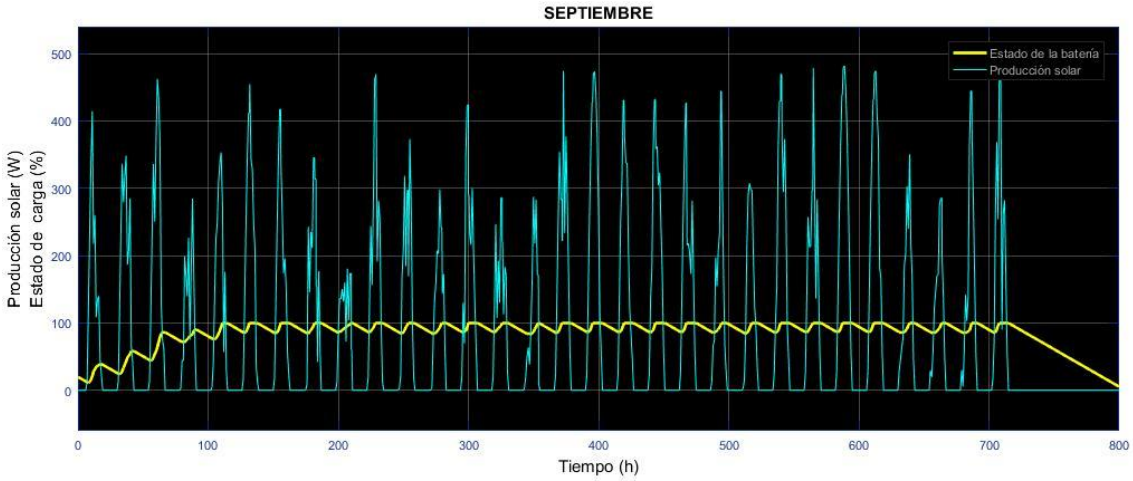


Figura 29 Producción energética y estado de carga del banco de baterías para septiembre de 2014.
Elaboración: Autor

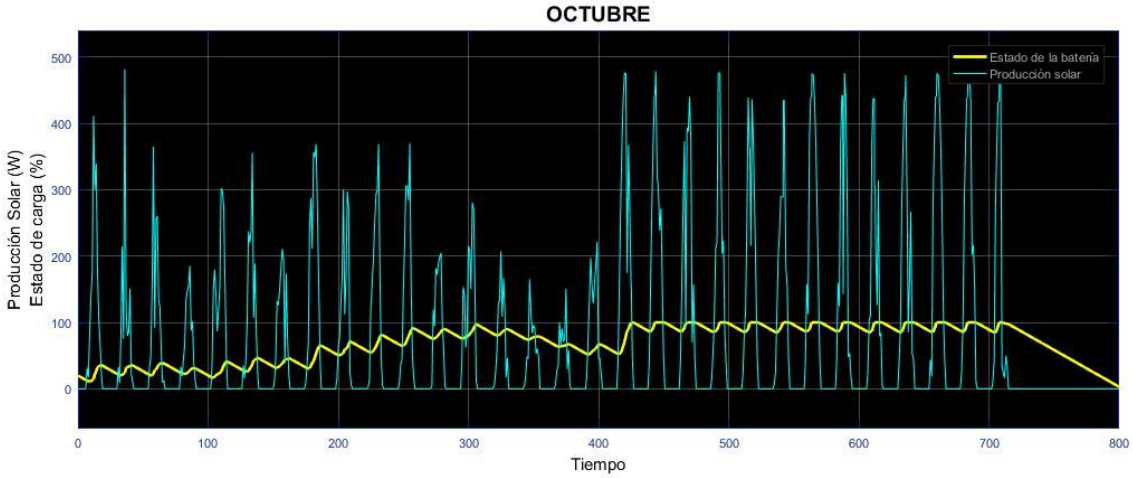


Figura 30 Producción energética y estado de carga de las baterías para octubre de 2014.
Elaboración: Autor

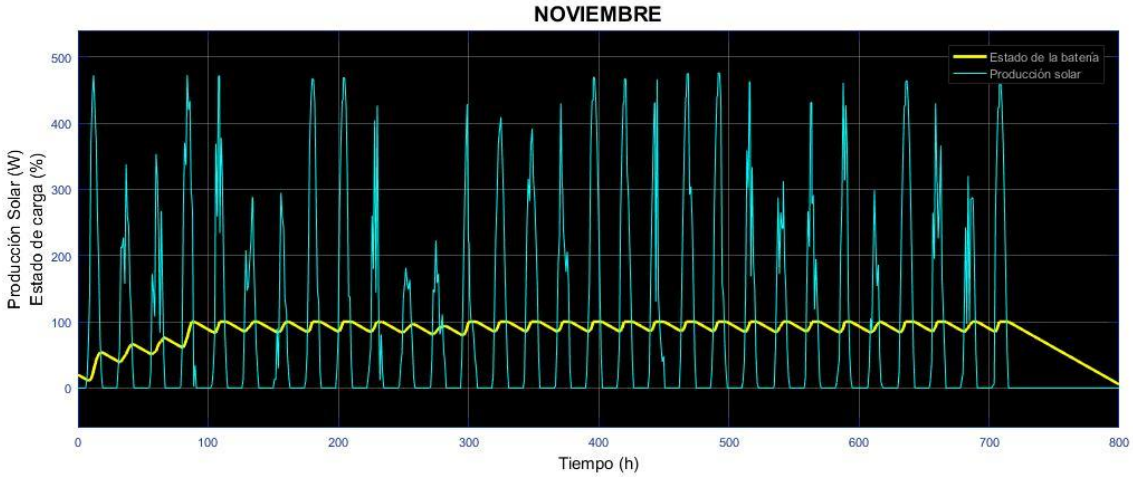


Figura 31 Producción energética y estado de carga de las baterías para noviembre de 2014.
Elaboración: Autor

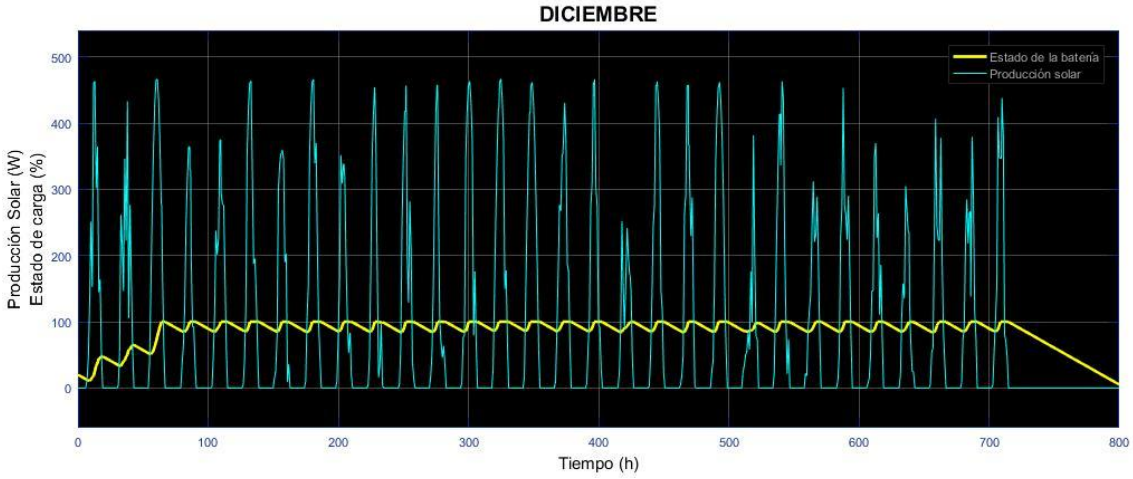


Figura 32 Producción energética y estado de carga de las baterías para diciembre de 2014.
Elaboración: Autor

Como se aprecia en todas las figuras de producción solar y estado de carga (SOC) desde enero hasta diciembre del año 2014 (figuras 21 a la 32), se puede observar que el estado de carga de las baterías en la mayor parte del año trabaja de manera normal, es decir no se tienen situaciones en ningún caso en donde el estado de carga de las baterías baje considerablemente de los límites recomendados por el fabricante (20%).

Se han generado las gráficas de modo que la línea que representa el estado de carga comience en cada mes a partir del 20% para así poder evidenciar cómo se comporta la misma luego de haber sufrido una descarga hasta este punto que generalmente sucede cuando la producción solar es mínima o nula. Sin embargo, según los datos de irradiación que fueron utilizados a partir de SAM 2017, existieron días con aporte solar muy bajo, pero ninguno con aporte cero, por lo que una mínima contribución de energía para el consumo permite que la batería no sea el único suministro energético en estas situaciones consideradas las más desfavorables.

Como se pudo evidenciar anteriormente en la gráfica 18, perteneciente al rendimiento del sistema fotovoltaico, en el mes de junio de 2014 se reportó el mínimo aporte energético que fue de 40kW/h el cual no abastecía la carga necesaria para el funcionamiento del nodo de telecomunicaciones; pues bien, por circunstancias de esa naturaleza es imprescindible contar con el aporte energético del banco de baterías. Así, se observa en la figura 26 obtenida de Simulink, que efectivamente la producción solar es relativamente baja en relación a los demás meses del año 2014, sin embargo con el aporte energético del banco de baterías, el sistema suministra sin problemas la energía necesaria durante todo el mes, considerando además que el estado de carga de las baterías comienza desde el 20%, situación que solo ocurre en el peor de los casos para el presente trabajo.

Adicionalmente, las gráficas fueron extendidas en el eje de las X, que representan el tiempo en horas de todos los meses analizados, dejando así en evidencia al final de cada gráfica que cuando hay un aporte nulo o cero de energía solar la línea que corresponde al estado de carga no cae bruscamente hasta cero, dicho de otra manera las baterías aportan energía durante un tiempo considerable sin descargarse hasta un punto cercano a lo recomendado que es el 20% de su capacidad; esto se muestra mejor en la ilustración 33 y se observa que si abastece energía para el tiempo de autonomía propuesto que es de 72 horas.

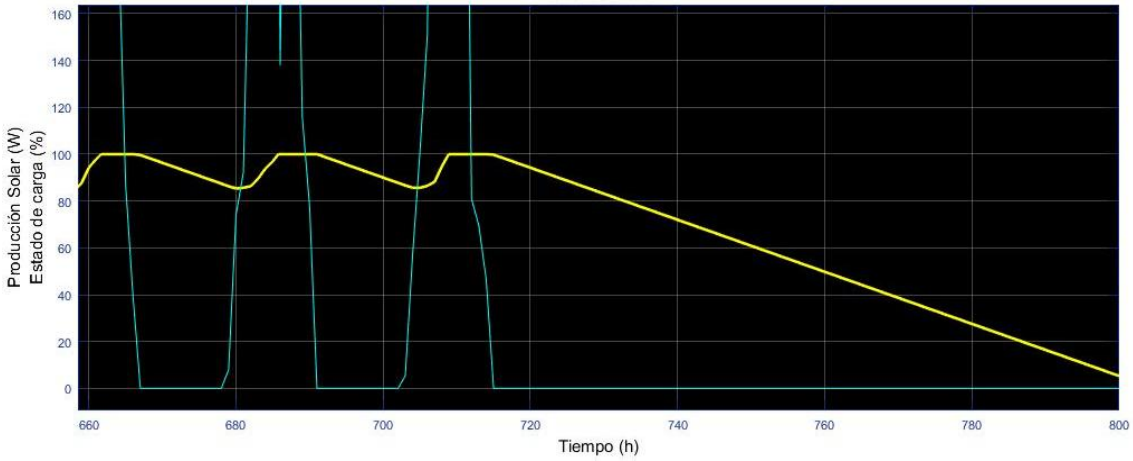


Figura 33 Caída del estado de carga de las baterías en los días de autonomía propuestos.
Elaboración: Autor

4.2 Resultados de la evaluación económica.

Los valores que se muestran a continuación son acorde a estimaciones establecidas por el autor del documento en base a archivos de la empresa PV Electrónica, en relación a una posible implementación para reconocer la rentabilidad del proyecto y el contraste entre los dos sistemas analizados.

A continuación se muestra en la tabla 10, el valor de la implementación del sistema de energía renovable:

Tabla 10 Costos de instalación del sistema fotovoltaico.

INVERSIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO						
Equipo	**Unidad**	**Número**		**Costo unitario**		**Costo total**
Caseta eléctrica	u	1	$	1,500.00	$	1,500.00
Batería	u	5	$	742.00	$	3,710.00
Panel Policristalino	u	2	$	358.00	$	716.00
Inversor	u	1	$	155.00	$	155.00
Controlador	u	1	$	68.00	$	68.00
Mano de obra	u	1	$	400.00	$	400.00
transporte	u	1	$	20.00	$	20.00
Otros	u	1	$	30.00	$	30.00
TOTAL					**$**	**6,599.00**

Fuente y elaboración: Autor

A continuación la tabla 11 muestra los costos de instalación del nodo de telecomunicaciones:

Tabla 111 Costos de inversión de un nodo de telecomunicaciones.

INVERSIÓN DEL NODO DE TELECOMUNICACIONES						
Descripción	**unidad**	**cantidad**	**Costo unitario**		**Costo total**	
Torre metálica	m	24	$	70.00	$	1,680.00
Equipo NB5	u	1	$	350.00	$	350.00
Equipo RB450	u	1	$	80.00	$	80.00
Equipo RB912	u	5	$	380.00	$	1,900.00
Equipo N2N	u	2	$	130.00	$	260.00
Caseta de telecomunicaciones	u	1	$	1,500.00	$	1,500.00
Cable utp para uso externo	m	252	$	2.00	$	504.00
Accesorios varios	u	1	$	200.00	$	200.00
Instalación general del nodo	u	1	$	400.00	$	400.00
Equipos en los hogares	u	95	$	105.00	$	9,975.00
TOTAL						**$16,849.00**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

Similarmente, los valores correspondientes a la instalación y extensión de la red eléctrica hacia el lugar del proyecto fueron calculados; cabe recalcar que los valores con los que se trabajaron corresponden a un estudio eléctrico realizado para un proyecto de similares características de la misma empresa PV Electrónica. Dicho estudio fue realizado para implementar el servicio de red pública extendiéndose una distancia de solamente 70 metros, es por esto que se calculó además de la instalación de la estación de transformación, el monto correspondiente a extender 70 metros de red, para así poder relacionarlo con la distancia real que se debería extender la red para el presente proyecto.

A continuación se detallan los costos de materiales y mano de obra para la instalación de la red eléctrica con una extensión de 70 metros.

Tabla 12 Costos de instalación de la red de media tensión con 70m de extensión

INVERSIÓN DE INSTALACIÓN DE RED DE MEDIA TENSIÓN				
MATERIALES				
Detalle	**Unidad**	**Cant**	**Precio unit.**	**Precio total.**
Conductor de media tensión	m	74	$ 0.42	$ 31.08
Acometida conductor multiplex.	m	14	$ 0.65	$ 9.10
Poste hormigón armado de 12m	u	1	$ 235.00	$ 235.00
Estructura en poste	u	1	$ 70.54	$ 70.54
Puesta a tierra	u	1	$ 93.04	$ 93.04
Seccionamiento y protección	u	1	$ 114.58	$ 114.58
Transformador monofásico autoprotegido 10kVA	u	1	$ 926.00	$ 926.00
Revisión de transformador en laboratorio	u	1	$ 18.02	$ 18.02
Materiales para la instalación del transformador	u	2	$ 4.51	$ 9.02
Tablero para 2 medidores 2F3C	u	1	$ 64.60	$ 64.60
Subtotal:				$ 1,570.98
Iva:				$ 188.52
Utilidad:				$ 392.75
Costos indirectos:				$ 157.10
TOTAL:				**$ 2,309.34**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

Tabla 13 Costos por mano de obra para la instalación de red eléctrica con una extensión de 70m

INVERSIÓN DE INSTALACIÓN DE RED DE MEDIA TENSIÓN	
MANO DE OBRA	
Detalle	**Precio total**
Diseño eléctrico	$ 600.00
Excavación para tensor o poste	$ 17.55
Acopio de piedra	$ 29.25
Carga, transporte y descarga del poste	$ 46.33
Izado y recatado del poste	$ 28.67
Montaje de estación de transformación	$ 101.54
Tendido, calibrado y amarre del conductor	$ 13.32
Estructura tipo UR (ESV-1CR)	$ 16.70
Estructura tipo (E1)R	$ 17.68
Montaje e instalación de seccionamiento, en una fase (S1)	$ 20.81
Puesta a tierra con varilla	$ 13.02
Subtotal	$ 904.87
Utilidad	$ 271.46
Costos indirectos	$ 90.49
TOTAL	**$ 1,266.82**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

Así mismo se muestran en la tabla 14 y 15, los valores correspondientes a la extensión de 70 metros adicionales de energía eléctrica:

Tabla 14 Costos de extensión de la red de media tensión por 70m adicionales

INVERSIÓN DE EXTENSIÓN DE RED DE MEDIA TENSIÓN (70m)				
MATERIALES				
Detalle	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Precio total.**
Conductor de media tensión	m	74	$ 0.42	$ 31.08
Acometida conductor multiplex	m	14	$ 0.65	$ 9.10
Poste hormigón armado de 12m	u	1	$ 235.00	$ 235.00
Estructura en poste	u	1	$ 98.43	$ 98.43
Subtotal:				$ 373.61
Iva:				$ 44.83
Utilidad:				$ 93.40
Costos indirectos:				$ 37.36
TOTAL:				**$ 549.21**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

Tabla 15 Costos por mano de obra de extensión de 70 metros adicionales de red eléctrica.

INVERSIÓN DE EXTENSIÓN DE RED MEDIA TENSIÓN (70m)	
MANO DE OBRA	
Detalle	**Precio total**
Excavación para tensor o poste	$ 17.55
Acopio de piedra	$ 29.25
Carga, transporte y descarga del poste	$ 46.33
Izado y recatado del poste	$ 28.67
tendido, calibrado y amarre del conductor	$ 13.32
Estructura tipo UR (ESV-1CR)	$ 16.70
Estructura tipo (E1)R	$ 17.68
Subtotal	$ 169.50
Utilidad	$ 50.85
Costos indirectos	$ 16.95
TOTAL	**237.30**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

El flujo de efectivo se muestra en la tabla 16, en donde se consideraron cuatro años como periodo de duración del proyecto y la inversión inicial realizada:

Tabla 16 Flujo de efectivo correspondiente a cuatro años propuestos para el proyecto.

Rubros	Años				
	Inversión	**1**	**2**	**3**	**4**
Ingresos					
Cobro de servicio de internet		$15,069.60	$19,358.40	$21,772.80	$25,531.20
Egresos					
Inversión del sistema de telecomunicaciones	$-16,849.00				
Inversión del sistema fotovoltaico	$ -6,599.00				
Pago por mantenimiento del sistema. fotovoltaico		$ -100.00	$ -100.00	$ -100.00	$ -100.00
Pago por personal (Técnico 1/2 tiempo)		$ -2,400.00	$ -2,400.00	$ -2,400.00	$ -2,400.00
Pago por personal (Administrador 1/3 tiempo)		$ -1,800.00	$ -1,800.00	$ -1,800.00	$ -1,800.00
Pago al servidor principal		$ -7,500.00	$ -7,500.00	$ -7,500.00	$ -7,500.00
Pago por arriendo del predio		$ -600.00	$ -600.00	$ -600.00	$ -600.00
Flujo de caja	**$-23,448.00**	**$ 2,669.60**	**$ 6,958.40**	**$ 9,372.80**	**$13,131.20**

Fuente: PV Electrónica
Elaboración: Autor

91009.79

4.2.1 Indicadores de rentabilidad VAN y TIR.

Para el cálculo del VAN y el TIR del proyecto, se utilizó la tasa de interés activa más actualizada para el año 2018, dato que fue obtenido por medio de la plataforma virtual del Banco Central del Ecuador (2018). Los resultados del VAN y TIR se puede apreciar en la tabla 17.

Como dato importante, se establece en el presente estudio un periodo de duración de 4 años ya que el proyecto está enfocado principalmente en la implementación del sistema de energía renovable para abastecer de energía a un nodo de telecomunicaciones y así dotar de servicio de internet a una población específica, por lo que el estudio económico está en base a la fase de implementación de este sistema y no a toda la fase de operación el cual involucraría todos los años de vida útil del sistema en si como el periodo.

Tabla 17 Indicadores financieros: VAN, TIR, Rb/c.

Inversión Nodo de telecomunicaciones		16849
Inversión Sistema fotovoltaico		6599
Total Inversión Inicial del nodo alimentado por el sistema fotovoltaico		**23448**
Inversión del Sistema de red pública (350m)		9296.42
Total Inversión Inicial del nodo alimentado por el sistema de red pública		**26145.42**
Periodo		4 años
Tasa de interés activa (febrero - 2018)		7.41%
Periodo (Años)	Flujo con el S. Fotov	
1	$	2,669.60
2	$	6,958.40
3	$	9,372.80
4	$	13,131.20
VAN (Sistema fotovoltaico)	**$**	**49,394.22**
TIR (sistema fotovoltaico)		**11.17%**
Periodo (Años)	Flujo con el Sist. Red Elec.	
1		2,769.60
2		7,058.40
3		9,372.20
4		13,131.20
VAN (sistema de red eléctrica)	**$**	**52427.25**
TIR (Sistema de red eléctrica)		**7.60%**

Elaboración: Autor

Los resultados obtenidos muestran que el proyecto fotovoltaico es rentable, utilizando una tasa de interés activa k de 7.41%, pues el valor actual neto resultante es **$ 49,394.22,** cifra positiva que según este indicador es la condición para que el proyecto se aceptado y considerado para realizar la inversión.

Así mismo analizando el indicador de la TIR, sabiendo que representa la condición en la cual el VAN se hace cero, o dicho de otro modo para que no se tengan ni ganancias ni pérdidas, la TIR es de 11,17% evidentemente superior a la tasa de interés activa k que es del 7,41% por lo que según las pautas expuestas en la metodología para este indicador, el proyecto se debe aceptar y ser considerado para realizar la inversión.

Así mismo se analizó la viabilidad del proyecto alimentado con la red eléctrica de servicio público, el cual también resultó ser beneficioso al dar un VAN positivo de $52,427.25 y una TIR de 7,60% también superior a la tasa de interés activa k que se utilizó para el cálculo de esta variable; de este modo el proyecto puede ser aceptado por lo que el inversor tiene la opción de trabajar con los cualquiera de los dos sistemas de electrificación estudiados en este trabajo.

4.2.2 Contraste entre el servicio público de electricidad y el sistema fotovoltaico

Una vez obtenidos los datos de los precios totales involucrados en cada uno de los sistemas, tanto el renovable como el tradicional de servicio público de electricidad; se realizó el análisis comparativo entre ambos:

En la tabla 18, se pueden apreciar los valores correspondientes a la instalación, mano de obra y depreciación de los equipos más significativos del sistema fotovoltaico correspondientes a los 15 años que se ha considerado como de vida útil del proyecto, considerando el banco de baterías y las celdas solares como las más importantes para definir esto. Además se ha referenciado y calculado los valores, tomando en cuenta los 30 años que es la vida útil del transformador que sería el equipo más significativo del sistema tradicional o de red pública.

Tabla 18 Valores por instalación, mano de obra, depreciación de equipos en 15 y 30 años.

Costos del sistema fotovoltaico				
Detalle	**VIDA UTIL**			
	Correspondiente a 15 Años		**Correspondiente a 30 años**	
Materiales y mano de obra de instalación	$	6,599.00	$	13,198.00
Depreciación anual del banco de baterías	$	247.33	$	494.67
Depreciación anual de las celdas solares	$	23.87	$	47.73
Mantenimiento periódico de los equipos	$	1,500.00	$	3,000.00
TOTAL	**$**	**8,370.20**	**$**	**16,740.40**

Fuente y elaboración: Autor

Por otra parte se han calculado los valores correspondientes a los equipos y mano de obra, así como el pago por consumo eléctrico. Se ha tomado como el tiempo de vida útil del proyecto a los 30 años que corresponde principalmente al transformador de energía como se mencionó anteriormente. Además en la tabla 19 se puede apreciar el costo de instalación comenzando con 70 metros de extensión, luego para el análisis se aumentan las distancias y se ven notorios aumentos en los precios de instalación involucrados.

Tabla 19 Valores por instalación, equipos, mano de obra, pago por servicio eléctrico acorde a varias distancias de extensión de red.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PÚBLICO (VIDA UTIL 30 AÑOS)					
Detalle	**METROS DE EXTENSIÓN DE RED**				
	70m	**210m**	**350m**	**770m**	**1050m**
Equipos de instalación y materiales	$ 2,309.34	$ 2,309.34	$ 2,309.34	$ 2,309.34	$ 2,309.34
Mano de obra de instalación	$ 1,266.82	$ 1,266.82	$ 1,266.82	$ 1,266.82	$ 1,266.82
Materiales extensión de red cada 70m	$ 549.21	$ 1,647.63	$ 2,746.05	$ 6,041.31	$ 8,238.15
Mano de obra por extensión de red cada 70m	$ 237.31	$ 711.93	$ 1,186.55	$ 2,610.41	$ 3,559.65
Depreciación anual del transformador	$ 30.86	$ 30.86	$ 30.86	$ 30.86	$ 30.86
Consumo eléctrico	$ 1,756.80	$ 1,756.80	$ 1,756.80	$ 1,756.80	$ 1,756.80
TOTAL	**$ 6,150.34**	**$ 7,723.38**	**$ 9,296.42**	**$ 14,015.54**	**$ 17,161.62**

Fuente y elaboración: Autor

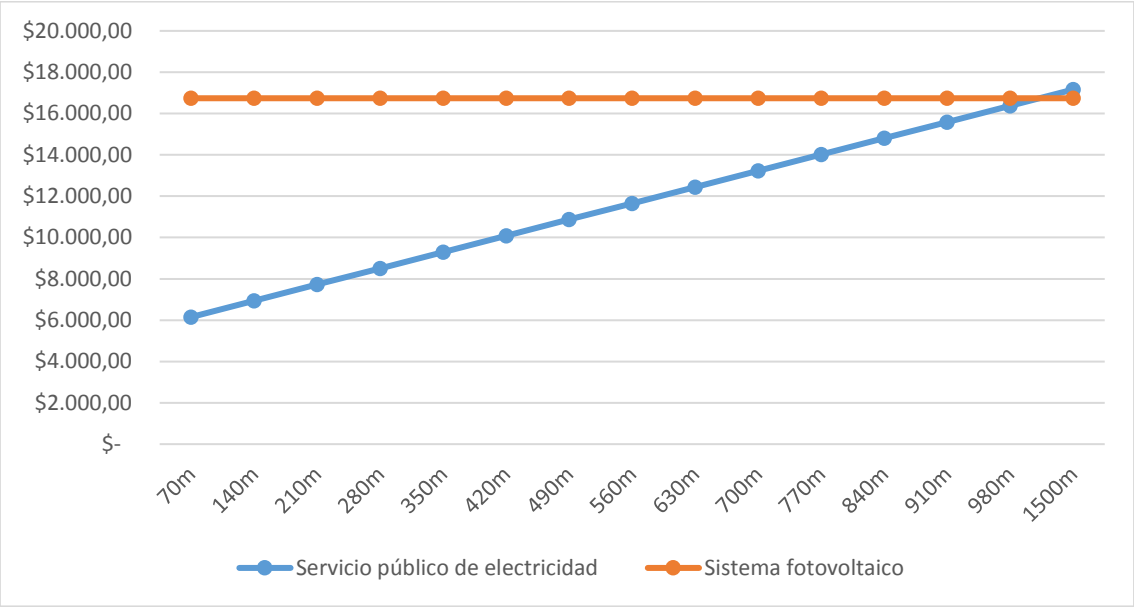


Figura 34 Contraste económico entre la instalación fotovoltaica y el servicio de red público de electricidad a distintas distancias de extensión.
Fuente y elaboración: Autor

Analizando la figura 34, se puede ver que a medida de que la distancia de red a extender sea más corta, la inversión disminuye, mientras que si el proyecto precisa extender la red eléctrica a más distancia, los costos aumentan considerablemente.

La distancia requerida para extender la red eléctrica hasta el sitio de estudio del presente proyecto es de aproximadamente unos 350 metros, lo que involucra valores alrededor de los **$ 9,296.42**. En contraste con el sistema a base de energía renovable, ésta cantidad es considerablemente menor, puesto que para la instalación del mismo

se necesita una inversión de $ **16,740.40** para que abastezca durante el mismo periodo propuesto de 30 años.

En este caso la mejor opción entre los dos sistemas estudiados, económicamente resulta ser la implementación del servicio público de electricidad, puesto que la distancia de 350 metros de extensión de red no representa aumentos considerables de los costos. Sin embargo se ha estudiado la posibilidad de ver hasta qué punto este sistema resulta la mejor opción; así se puede apreciar que el sistema renovable comienza a ser mejor económicamente cuando la red se extienda hasta casi los 1050 metros; a esta distancia el valor de la instalación será de $**17,161.62** superando la inversión del sistema fotovoltaico propuesto.

4.3 Resultados de la evaluación social

Se realizaron las encuestas como se detalló en el apartado de metodología a un número representativo de la población total de la parroquia Tomebamba que fue escogida y seleccionada como la muestra para este análisis.

4.3.1 Calculo de la muestra y sistematización de las encuestas

4.3.1.1 Cálculo de la muestra:

Se tomaron los datos del último Censo de Población y Vivienda realizado en el 2010 por el INEC, donde se seleccionaron los datos de la parroquia Tomebamba perteneciente al cantón Paute, que es la población que se ve en mayor medida influenciada por el proyecto; dando una población de 1561 habitantes.

El valor de σ (desviación estándar) que se tomó fue de 0.5, así mismo el valor de Z (nivel de confianza) fue de 1.96 y el valor de *e* (límite aceptable de error muestral) de 0.9; todos estos valores fueron tomados por criterio del encuestador, analizando las posibilidades dentro de los rangos generalmente usados cuando se desconocen estos parámetros.

Los resultados se muestran a continuación

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

$$n = \frac{(1561)(0{,}5)^2(1{,}96)^2}{[(1561-1)(0{,}9)^2] + [(0{,}5)^2(1{,}96)^2]}$$

$$n = 89.62 = 90\ encuestas\ o\ muestras$$

4.3.1.2 Sistematización de las encuestas.

Las encuestas se diseñaron partiendo del uso final que tendrá la energía producida por el sistema fotovoltaico, que en este caso es la de suministrar a un nodo de telecomunicaciones que permitirá el acceso a las personas al servicio de internet en su comunidad, de este modo se diseñaron preguntas con el fin de conocer su percepción a cerca de este servicio, las necesidades que tienen en cuanto al mismo y su opinión acerca del uso de energías renovables para este objetivo y además de manera general.

Preguntas.

P1. ¿Cuenta actualmente con servicio de internet?

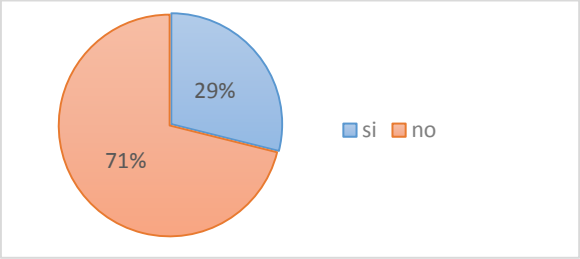


Figura 35 Porcentaje de personas que cuentan con servicio de internet en sus hogares.
Fuente y elaboración: Autor

P2. ¿Con qué fines usa el internet?

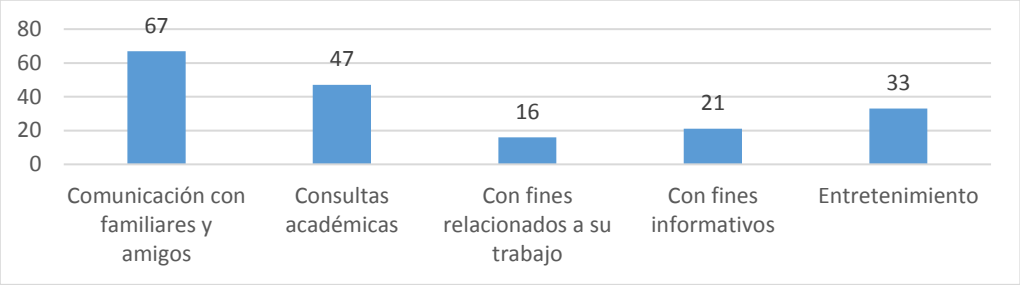


Figura 36 Estimación de fines con que las personas usan el servicio de internet.
Fuente y elaboración: Autor

P3. ¿Quisiera que en su comunidad existan más alternativas para disponer de este servicio?

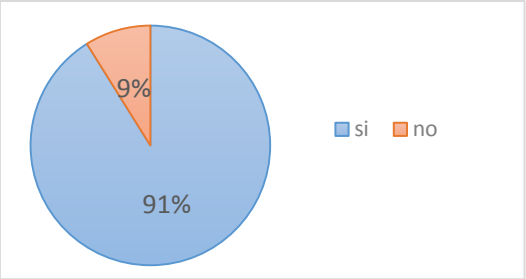


Figura 37 Porcentaje de personas que sugieren que deben existir más alternativas para disponer de servicio de internet en su parroquia.
Fuente y elaboración: Autor

P4. ¿Conoce sobre las energías renovables?

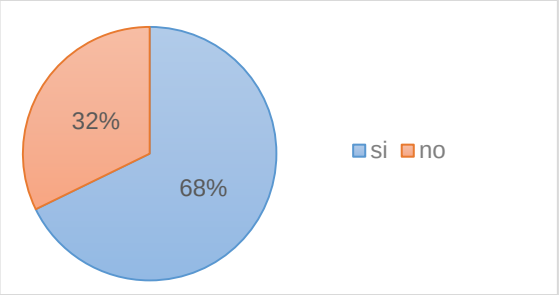


Figura 38 Porcentaje de personas que tienen conocimiento sobre las energías renovables.
Fuente y elaboración: Autor

P5. ¿Qué tipo de energías renovables conoce usted?

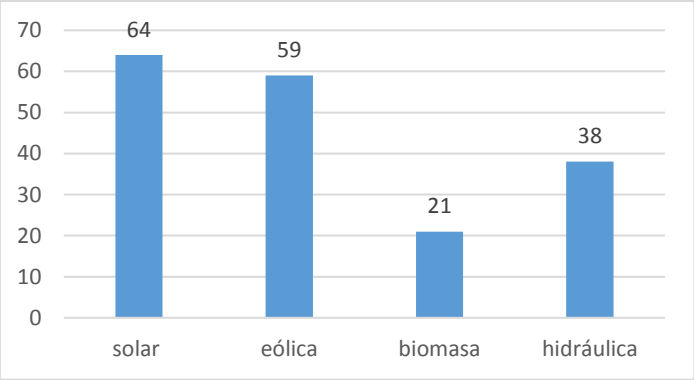


Figura 39 Tipos de energías que resultan más conocidas para las personas encuestadas.
Fuente y elaboración: Autor

P6. Estaría usted de acuerdo con que la energía que usan los equipos que hacen posible que usted disponga de internet sean de tipo renovables (Paneles solares)?

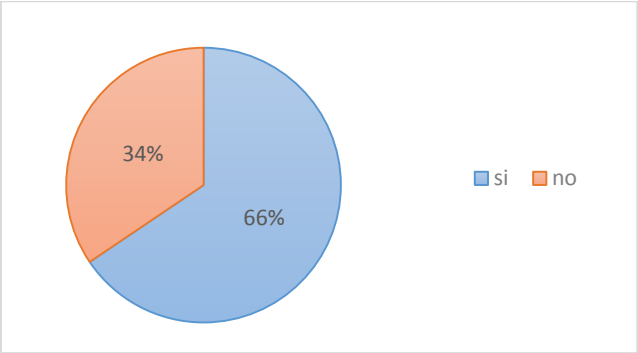


Figura 40 Estimación del nivel de aceptación del uso de paneles solares para la electrificación de los nodos de telecomunicaciones.
Fuente y elaboración: Autor

P7. ¿Considera usted que en el caso de existir el potencial necesario, se deba explotar al máximo las energías renovables en su parroquia?

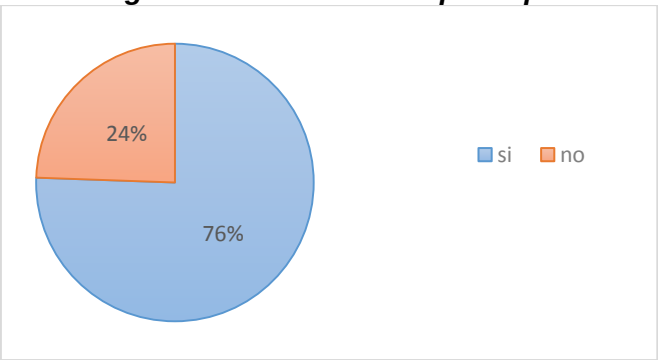


Figura 41 Opinión de los encuestados sobre si sería conveniente explotar al máximo las energías renovables en la parroquia.
Fuente y elaboración: Autor

P8. ¿Piensa usted que la utilización de paneles solares para la generación de energía representa algún problema o impacto negativo dentro de su parroquia?

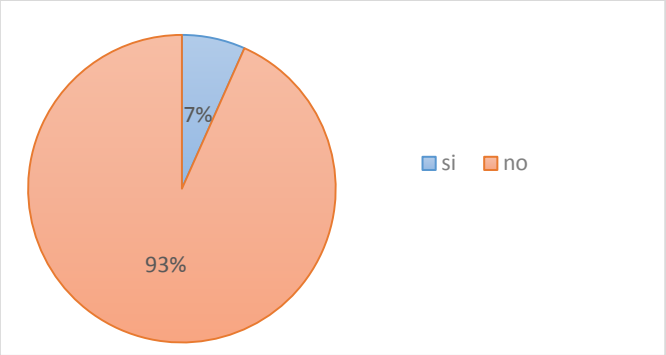


Figura 42 Opinión de los encuestados sobre si consideran que el uso de paneles solares generaría algún impacto adverso en su parroquia.
Fuente y elaboración: Autor

P9. ¿Cuál es su percepción general a cerca de la utilización de paneles solares para la producción de energía eléctrica?

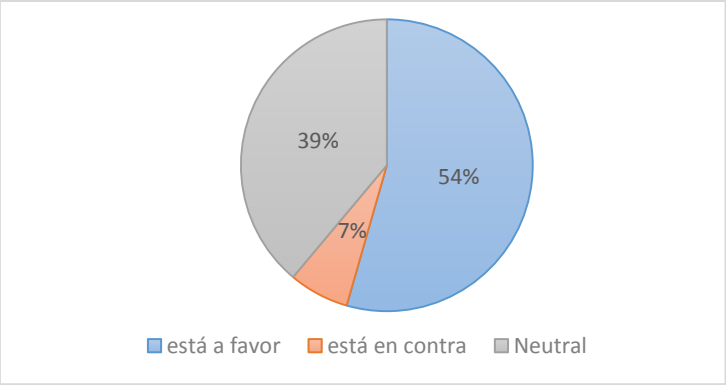


Figura 43 Percepción de las personas a cerca de su nivel de aceptación sobre la utilización de paneles solares para producción eléctrica dentro de su parroquia.
Fuente y elaboración: Autor

Según los resultados de las encuestas, una vez realizada la sistematización de las mismas, se evidencia una notoria cantidad de personas que no cuentan en la actualidad con el servicio de internet en sus hogares, y se puede evidenciar en la figura 35. Sin embargo, de acuerdo a la figura 37, el 91% de las personas indicaron que si desearían que en su comunidad existan más alternativas para disponer de este servicio ya que algunas de estas personas afirman que es una herramienta de mucha importancia en estos días.

De acuerdo a las personas encuestadas, y según se aprecia en la figura 36, los fines más comunes con que utilizan el servicio de internet son para comunicación con amigos y familiares, seguido con las consultas académicas, luego entretenimiento, fines informativos y por último los fines relacionados con actividades que tienen que ver con sus trabajos.

Similarmente en cuanto a lo que concierne a energías renovables, el 68% de las personas encuestadas según la figura 38, conocen o tienen alguna idea de lo que son este tipo de energías; por otra parte el restante 32% desconoce o tiene algún pensamiento errado acerca del tema. El tipo de energías que más conocida resulta para las personas encuestadas es la solar y la eólica, seguido por la hidráulica y finalmente la biomasa según la figura 39.

Según la figura 40, la mayor parte de las personas afirman que si deseasen que exista una sustitución en cuanto a la utilización de fuentes energéticas tradicionales por las de origen renovable para suministrar energía eléctrica a un nodo de telecomunicaciones que permitirá y dará mayor oportunidades de disponer de servicio de internet en la parroquia, sin embargo también existen personas que al parecer muestran cierta resistencia al cambio. Así mismo según la figura 41, un número similar indicó que de darse las condiciones necesarias si se debería explotar las energías

renovables al máximo en las zonas rurales, ya que consideran que aparte de los beneficios ambientales se tendrán además beneficios económicos y sociales para la zona.

Las personas encuestadas en su mayoría consideran que el uso de paneles solares para la generación eléctrica, no ocasionará impactos negativos significativos, por lo que se muestran abiertos ante esta alternativa (figura 42); adicionalmente lo anterior dicho se puede respaldar con la figura 43 que indica cuál es su percepción a cerca de la utilización de las celdas solares, la mayor parte de los encuestados afirman que están a favor de la utilización de esta alternativa, un porcentaje menor indica que es neutral, es decir, para este grupo de personas le resulta igual de importante que se utilicen energías renovables o se sigan utilizando las tradicionales que por lo general es el suministro eléctrico público y en un porcentaje mínimo entran quienes se oponen rotundamente a estas energías ya que consideran que representan algún tipo de riesgo o simplemente se resisten al cambio.

4.4 Resultados de la evaluación Ambiental

4.4.1 Componentes ambientales y características relevantes para la caracterización ambiental.

Tabla 20 Componentes, factores ambientales, y característica relevantes para la caracterización ambiental

COMPONENTE		Factor ambiental	Características relevantes de inclusión dentro de la caracterización ambiental.
FÍSICO	AIRE	calidad del aire	Cambio de la calidad del aire en la etapa de construcción y demolición, especialmente por material particulado.
		Ruido	Aumento de los niveles de presión sonora en la etapa de instalación de los equipos.
		Radiaciones no ionizantes.	Presencia de radiación no ionizante en la zona de instalación del proyecto; campo magnético
	SUELO	Residuos sólidos	Generación de residuos sólidos por desbroce de vegetación y por empaques de los equipos.
		Calidad del suelo	Inhabilitación del suelo por compactación.
		Erosión	La erosión se intensifica en sitios donde se retira la cobertura vegetal, o dicho de otra manera los procesos erosivos se activan.
	AGUA	Aguas superficiales	Alteración de la calidad del aire por posibles fugas de contaminante proveniente de las baterías.
	PAISAJE	paisaje	Alteración del paisaje natural, ocasionando un impacto visual.
BIÓTICO	FLORA	cobertura vegetal	Pérdida de biomasa al adecuar el sitio para la instalación del proyecto y su operación.
	FAUNA	Avifauna	Desplazamiento de especies por alteración del sitio con la implementación de la nueva estructura.
		Especies menores	Desplazamiento de especies, riesgo de atropello.
SOCIO-CULTURAL		Calidad de vida	Conflictos con moradores, resistencia al cambio, interferencias radioeléctricas
		Educación	Mayor acceso a la información
		cultural	Se promueve una cultura de aprovechamiento de energía sostenible, a nivel empresarial y a nivel de hogar

Fuente y elaboración: Autor

4.4.2 Descripción de las actividades del proyecto.

Las actividades que se han considerado para la elaboración de las matrices de identificación y evaluación de impactos para la construcción, operación y abandono del proyecto, son las que se muestran en la tabla 21:

Tabla 21 Descripción de las actividades y su definición, en las etapas de construcción, operación y cierre.

ACCIÓN	DEFINICIÓN
Etapa de construcción	
Desbroce de vegetación excesiva	Estas actividades se refieren por lo general a la remoción de vegetación para la construcción donde se alojarán los equipos.
Transporte de materiales de construcción.	Transporte y descarga de materiales para la construcción de la casa de control (bloques, cemento, arena, entre otros)
Construcción de obras	Esta actividad se refiere en este caso a la construcción de un espacio o una casa de control en donde se alojarán parte de los equipos del sistema fotovoltaico.
Transporte de equipos y materiales	Transporte y descarga de los equipos que conformarán el sistema fotovoltaico.
Instalación del sistema de energía renovable	Instalación de los paneles solares y la conexión de los mismos con los demás equipos de acuerdo al dimensionamiento realizado.
Etapa de operación	
Operación del sistema	Presencia de la instalación durante todo el tiempo que funcione el sistema
Etapa de Cierre o Abandono	
Desmontaje de equipos	Actividad en la cual se realiza la total desmantelación del sistema, retirando del lugar todos los equipos que sirvieron para el desarrollo y operación del proyecto.
Demolición de obras	Demolición de las obras que ya no serán útiles y además serán un obstáculo si se deseara destinar el terreno para otras actividades.
Clasificación de residuos finales	Clasificar y transportar los equipos y materiales sobrantes y hacer un manejo de los residuos sólidos.
Desalojo de escombros	Llevar los residuos de la demolición con el uso de camiones o volquetas.
Rehabilitación	Dejar el sitio de emplazamiento del proyecto como mínimo en similares condiciones a las que tenía antes de implementar el mismo.

Fuente y elaboración: Autor

4.4.3 Matrices de Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales.

Tabla 22 Matriz de identificación de impactos.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		Agua	Aire		Suelo	Paisaje	Flora	Fauna		Socio-cultural		
		superficiales	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	-	-		-	-	-		-			
	Transporte de materiales de construcción		-	-					-			
	Construcción de obras	-		-		-		-	-	-		+
	Transporte de los equipos y materiales		-	-					-			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			-				-			+	+
Operación	Operación del sistema					-					+	+
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			-		+		+				
	Demolición de obras		-	-					-	-		
	Clasificación de residuos finales									+	+	+
	Desalojo de escombros			-		+	+	+	+	+	+	
	Rehabilitación	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 23 Matriz de intensidad de impactos

MATRIZ DE INTENSIDAD DE IMPACTOS (Alto=7-9; medio=4-6; majo=1-3)												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	4	2		3	7	4		7			
	Transporte de materiales de construcción		2	4					3			
	Construcción de obras	2		6		6		4	7	2		2
	Transporte de los equipos y materiales		1	4					3			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			2				3			4	5
Operación	Operación del sistema					5					3	6
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			3		2		4				
	Demolición de obras		7	8					4	3		
	Clasificación de residuos finales									6	6	8
	Desalojo de escombros			4		5	4	3	4	5	4	
	Rehabilitación	6	6	2	6	7	7	6	8	7	7	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 24 Matriz de extensión de impactos

MATRIZ DE EXTENSIÓN DE IMPACTOS (Regional=10; Local=5; Puntual=2)												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	2	5		2	5	2		2			
	Transporte de materiales de construcción		5	5					5			
	Construcción de obras	2		2		5		5	2	5		5
	Transporte de los equipos y materiales		5	5					5			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			2				5			5	10
Operación	Operación del sistema					5					5	5
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			2		5		5				
	Demolición de obras		2	2					2	5		
	Clasificación de residuos finales									5	5	5
	Desalojo de escombros			5		5	2	5	2	2	5	
	Rehabilitación	2	5	2	5	5	2	5	5	5	5	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 25 Matriz de duración de impactos

MATRIZ DE DURACIÓN DE IMPACTOS (Largo=10; Mediano=5; Corto=2)												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	5	2		5	5	5		5			
	Transporte de materiales de construcción		2	2					2			
	Construcción de obras	2		2		5		5	5	5		5
	Transporte de los equipos y materiales		2	2					2			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			2				2			5	5
Operación	Operación del sistema					10					10	10
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			2		5		2				
	Demolición de obras		2	2					5	2		
	Clasificación de residuos finales									2	2	5
	Desalojo de escombros			2		5	5	2	2	2	2	
	Rehabilitación	5	5	10	5	10	10	2	2	5	5	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 26 Matriz de reversibilidad de impactos

MATRIZ DE REVERSIBILIDAD DE IMPACTOS (Bajo o irrecuperable= 10; Recuperable e largo plazo y costoso=9; Media=5; Alta, inmediata, inmediata=2)												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	5	2		9	9	5		5			
	Transporte de materiales de construcción		2	2					5			
	Construcción de obras	2		2		5		5	5	5		5
	Transporte de los equipos y materiales		2	2					5			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			2				5			5	5
Operación	Operación del sistema					2					5	5
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			2		5		2				
	Demolición de obras		2	2					5	5		
	Clasificación de residuos finales									2	5	5
	Desalojo de escombros			2		2	5	5	5	5	5	
	Rehabilitación	5	9	2	9	9	10	5	5	5	5	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 27 Matriz de incidencia de impactos

MATRIZ DE INCIDENCIA DE IMPACTOS (Alto=10; Medio=5; bajo=2)												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULTURAL		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	5	10		5	5	10		5			
	Transporte de materiales de construcción		5	5					5			
	Construcción de obras	2		10		10		2	5	2		5
	Transporte de los equipos y materiales		5	5					5			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			5				2			5	5
Operación	Operación del sistema					10					5	5
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			5		5		2				
	Demolición de obras		5	10					5	5		
	Clasificación de residuos finales									5	5	5
	Desalojo de escombros			5		5	2	2	5	2	2	
	Rehabilitación	5	10	5	5	10	5	5	5	5	5	

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 28 Matriz de magnitud de impactos

MATRIZ DE MAGNITUD DE IMPACTOS (Ma=(I*0.40)+(E*0.40)+(D*0.20))												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	3.4	3.2	0	3	5.8	3.4	0	4.6	0	**0**	**0**
	Transporte de materiales de construcción	0	3.2	4	0	0	0	0	3.6	0	**0**	**0**
	Construcción de obras	2	0	3.6	0	5.4	0	4.6	4.6	3.8	0	3.8
	Transporte de los equipos y materiales	0	2.8	4	0	0	0	0	3.6	0	0	0
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)	0	0	2	0	0	0	3.6	0	0	4.6	7
Operación	Operación del sistema	0	0	0	0	6	0	0	0	0	5.2	6.4
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos	0	0	2.4	0	3.8	0	4	0	0	0	0
	Demolición de obras	0	4	4.4	0	0	0	0	3.4	3.6	0	0
	Clasificación de residuos finales	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	4.8	6.2
	Desalojo de escombros	0	0	4	0	5	3.4	3.6	2.8	3.2	4	0
	Rehabilitación	4.2	5.4	3.6	5.4	6.8	5.6	4.8	5.6	5.8	5.8	0

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 29 Matriz VIA (valoración del índice ambiental)

MATRIZ DE VALORACIÓN DEL ÍNDICE AMBIENTAL DE IMPACTOS												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULT		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	3.9518	3.5	0	4.1668	6.2	4.44606	0	4.752	0	**0**	**0**
	Transporte de matariales de construcción	0	3.1	3.6	0	0	0	0	4.092	0	**0**	**0**
	Construcción de obras	2	0	3.8	0	5.9	0	4.1	4.752	3.619	0	4.2
	Transporte de los equipos y materiales	0	2.9	3.6	0	0	0	0	4.092	0	0	0
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)	0	0	2.3	0	0	0	3.5	0	0	4.8	6.1
Operación	Operación del sistema	0	0	0	0	5.1	0	0	0	0	5.1	5.8
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos	0	0	2.6	0	4.2	0	3.1	0	0	0	0
	Demolición de obras	0	3.6	4.3	0	0	0	0	3.952	4.092	0	0
	Clasificación de residuos finales	0	0	0	0	0	0	0	0	3.987	4.9	5.7
	Desalojo de escombros	0	0	3.6	0	4.1	3.38182	3.5	3.51	3.259	3.7	0
	Rehabilitación	4.4955	6.7	3.3	5.9637	7.7	6.2405	4.9	5.358	5.474	5.5	0

Fuente y elaboración: Autor

Tabla 30 Matriz de severidad de impactos

MATRIZ DE SEVERIDAD DE IMPACTOS												
ETAPA	ACTIVIDADES	FACTORES Y COMPONENTES AMBIENTALES										
		FISICO					BIOTICO			SOCIO-CULTURAL		
		AGUA	AIRE		SUELO	PAI	FLORA	FAUNA		Socio-cultural		
		calidad	calidad	Ruido	Erosión	paisaje	Cobertura vegetal	Avifauna	Especies menores	Calidad de vida	Educación	Cultural
Construcción	Desbroce de vegetación	13.4	11.2		12.5	36.1	15.1		21.9			
	Transporte de matariales de construcción		10.0	14.3					14.7			
	Construcción de obras	4.0		13.5		31.8		18.7	21.9	13.8		16.1
	Transporte de los equipos y materiales		8.0	14.3					14.7			
	Instalación del sistema de energía renovable (Paneles solares)			4.7				12.6			21.9	43.0
Operación	Operación del sistema					30.8					26.6	37.2
Cierre o abandono	Desmontaje de equipos			6.3		16.1		12.2				
	Demolición de obras		14.3	18.7					13.4	14.7		
	Clasificación de residuos finales									19.1	23.4	35.3
	Desalojo de escombros			14.3		20.4	11.5	12.6	9.8	10.4	14.9	
	Rehabilitación	18.9	36.2	12.0	32.2	52.5	34.9	23.4	30.0	31.7	31.7	

Fuente y elaboración: Autor

4.4.4 Interpretación de resultados.

Las matrices de Leopold realizadas para la identificación y valoración de los impactos ambientales del proyecto dieron como resultado 53 impactos, de los cuales 27 de ellos o el 51% son impactos adversos, mientras que los 26 restantes o el 49% son benéficos (figura 44).

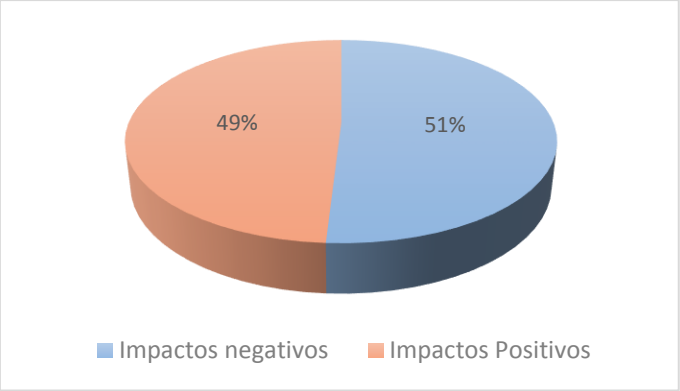


Figura 44 Porcentaje de impactos adversos y benéficos.
Fuente y elaboración: Autor

Las actividades que según el análisis de las matrices causan impactos al interactuar con los factores ambientales se muestran en la figura 45, pudiéndose apreciar el número de impactos por actividad y así mismo distinguir entre si son adversos y benéficos:

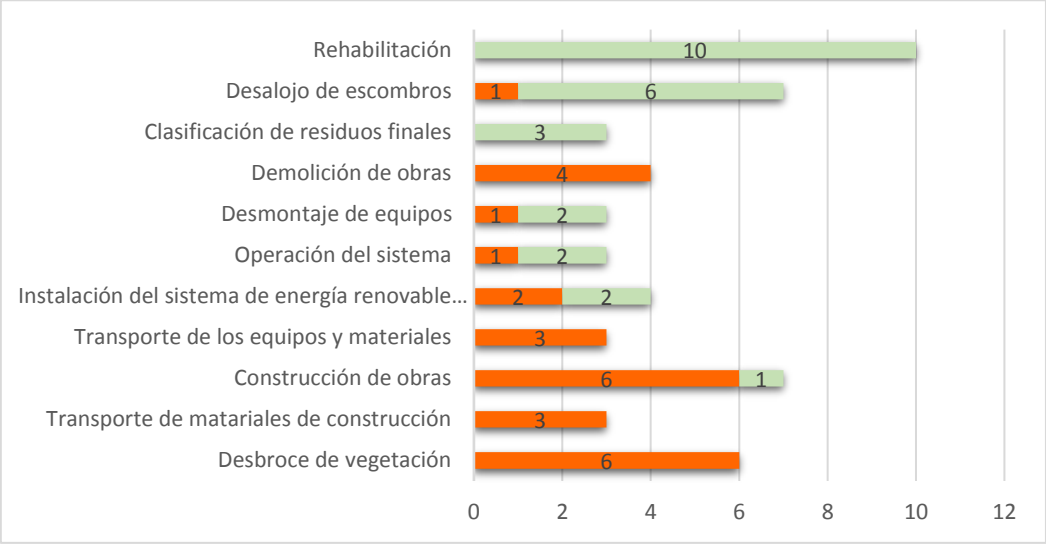


Figura 45 Número de impactos adversos (color anaranjado) y benéficos (color verde) por actividad realizada.
Fuente y elaboración: Autor

Así mismo, mediante el análisis realizado se pudo distinguir los compartimentos ambientales que más se verán afectados con la ejecución del proyecto, siendo el más

afectado el medio físico con un 45%, seguido del medio biótico y sociocultural con el 28% y 27% respectivamente y se puede apreciar en la figura 46.

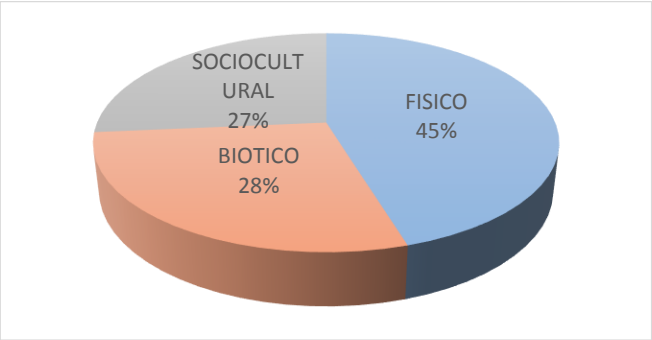


Figura 46 Porcentaje de impactos acorde a compartimento ambiental.
Fuente y elaboración: Autor

Según la figura 46 y 47, el componente físico, es el que presenta mayor incidencia de impactos debido al ruido y la calidad del aire, que se asocian principalmente a las fases de construcción y cierre del proyecto; así mismo la alteración del paisaje también presenta gran incidencia pero hace referencia sobre todo a la fase de construcción y operación del proyecto.

Para el componente biótico, el factor fauna es el que tiene mayor número de incidencia en cuanto a impactos, principalmente por el desplazamiento de las especies de la zona durante todas las etapas de ejecución del proyecto.

Dentro último componente analizado, que es el socio-cultural, los factores tres factores analizados (calidad de vida, educación y cultural), tienen similar impacto, siendo en su mayoría benéficos, ya que que servirá el proyecto para un fin productivo, y que además promueve la utilización de energías renovables.

En la figura 47 se distinguen los impactos positivos de color anaranjado y los impactos negativos de color azul.

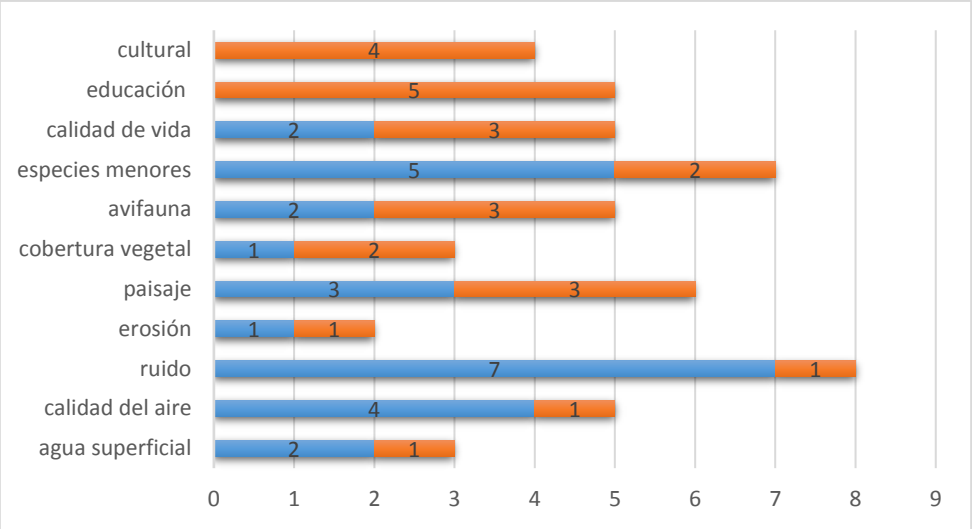


Figura 47 Número de impactos generados acorde a factores ambientales.

Fuente y elaboración: Autor

De la evaluación final y según la tabla 31, se obtuvo que el 49% de los impactos que se generarían con el proyecto son representativos o de impacto positivo, el 34% pertenece dentro de la categoría moderada, una menor cantidad con el 13% se encuentran los impactos severos y el 4% dentro de leve; finalmente dentro de la categoría crítica no se obtuvo ningún impacto.

Tabla 31 Porcentaje de impactos acorde al grado de severidad que presentan.

Severidad del impacto	Escala de valores	cantidad	%
Leve	0 – 5	2	4
Moderado	6 – 15	18	34
Severo	16 – 39	7	13
Crítico	40 - 100	0	0
Impacto positivo	0 - 100	26	49

Fuente y elaboración: Autor

Al encontrarse los mayores impactos negativos dentro de la categoría moderada, la recuperación de las condiciones ambientales será posible y requerirá de un cierto tiempo para lograr buenos resultados, precisando prácticas de mitigación simples, por lo tanto, los impactos no pueden alterar significativamente el ambiente en el sitio del proyecto. Sin embargo para los impactos severos se deberán adecuar prácticas de mitigación específicas y así se lograra la recuperación de las condiciones iniciales del sitio luego de un periodo de tiempo más largo.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con la ejecución del presente trabajo se ha logrado evaluar la factibilidad de la implementación de un sistema de generación de energía renovable, aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones en la comunidad de “Rodeo” de la parroquia Tomebamba del Cantón Paute.

Al inspeccionar la zona de estudio se pudo constatar que el sitio designado no es abastecido con el suministro público de energía eléctrica, siendo uno de los motivos para que el proyecto de energías renovables se haya planteado. Además, con la recolección de datos de los posibles recursos energéticos en la zona, se llegó a la conclusión de que el más conveniente es la energía solar fotovoltaica, ya que la bibliografía consultada del sector otorga valores de Insolación global promedio aceptables o ventajosos para los fines pertinentes del estudio. Otro recurso que a simple inspección parecía ser un factor también viable, fue el eólico, pero al consultar la bibliografía y al obtener los valores de velocidad de los vientos por medio del Software SAM, estos resultaron demasiado bajos, por lo que se descartó este recurso para la ejecución del presente proyecto junto con el factor biomasa e hídrico al no contar con la información necesaria perteneciente a la zona y al tener claros puntos débiles.

El consumo energético o la carga energética del nodo de servicio de telecomunicaciones fue determinado mediante la revisión de fichas técnicas de todos los equipos que lo conforman, pudiéndose validar estos datos con los valores de consumo energético que se detalla en las planillas Centrosur de un sistema de similares características al que se pretende instalar. El consumo del nodo de comunicaciones es de 41.76 kWh/mes que representa una cantidad pequeña de energía que consume el sistema y esto se puede evidenciar al consultar los montos a pagar por el servicio eléctrico que en promedio se encuentra por los 4.51 dólares mensuales.

El sistema seleccionado para el proyecto fue el solar fotovoltaico, el cual se dimensionó acorde a las necesidades energéticas y a las características de los equipos. Mediante el software de simulación SAM, se calculó el rendimiento del sistema, dicho de otro modo se obtuvo el aporte energético que tendrá la instalación fotovoltaica para alimentar al nodo de servicio de telecomunicaciones, el resultado de dicha simulación determinó que en casi todos los meses medidos la cantidad de

energía obtenida supera la demanda del sistema que se pretende instalar, a excepción de junio cuya producción energética es de 40kWh.

Adicionalmente, con la ayuda de la herramienta de Matlab: Simulink, se dimensionó todo el sistema de tal modo de que la energía producida por las celdas solares se complemente con un banco de baterías para que la energía excedente de los meses de mayor producción solar sea almacenada y utilizada en los meses en donde exista menor producción energética; de este modo se evidencia que para todos los meses, la energía aportada por las celdas solares y las baterías abastecen correctamente al nodo de telecomunicaciones, teniendo en cuenta además que las baterías no pueden descargarse más del 80% para que no afecte la vida útil de las mismas. De este modo se llega a la conclusión de que el proyecto de energías renovables para este fin productivo es factible técnicamente en el sitio asignado para el estudio.
En cuanto al estudio económico, para comenzar se pudieron establecer los costos de la inversión pertenecientes al nodo de telecomunicaciones y al sistema fotovoltaico propuesto; así mismo se pudieron conocer los ingresos y egresos que representan cada uno de los sistemas en el periodo de tiempo establecido, por medio de estimaciones del autor del documento y de los archivos proporcionados por la empresa ejecutora del proyecto, lo cual permitió evaluar económicamente el sistema fotovoltaico propuesto mediante indicadores financieros tales como el TIR, VAN y Rb/c; de igual manera fue posible el análisis que contrasta el sistema fotovoltaico frente al sistema del suministro público de electricidad.

Los indicadores antes nombrados determinaron que el sistema fotovoltaico es rentable y viable económicamente, pues con un VAN positivo de $ 49.394.22, una TIR de 11.7% mayor a la tasa de descuento utilizada de 7.41% y una Rb/c de 1.16 que indica que hay ganancias de $0.16 por cada dólar invertido, se cumple el criterio establecido para que según cada indicador el proyecto sea aceptado.

Por otro lado, el contraste realizado entre la instalación de los dos sistemas estudiados (fotovoltaico y red pública) muestra que a medida de que haya la necesidad de extender la red pública de electricidad a más distancia los costos se incrementan, lo que no ocurre en el sistema fotovoltaico ya que la instalación es puntual y representa un único valor de $16,740.40. Dado que la red pública en este caso de tiene que extender una distancia de solamente 350m, el costo de instalación del mismo es de $9,296.42 por lo que económicamente es más favorable implementar el sistema de suministro público de electricidad. Se analizó además hasta qué punto es mejor económicamente instalar la red de suministro público tomando en cuenta la variable

distancia, y se demostró que a una distancia de 1050 metros, los costos superan a la inversión en el sistema fotovoltaico con un valor de $17,161.62; en este caso la mejor opción claramente es la utilización de energías renovables.

En cuanto a la evaluación social, un gran porcentaje de las personas encuestadas conocen hoy en día sobre las energías renovables, sobre todo si se habla de tecnologías fotovoltaicas. Adicionalmente se determinó según el criterio de las personas que hay un gran apoyo por parte de ellas, para los proyectos que se lleven a cabo con energías de origen renovable en su parroquia y en cualquier entorno; supieron manifestar además la mayoría de los encuestados, que no consideran que éstas tecnologías representen riesgo alguno; por el contrario, al estar enlazadas algunas de las preguntas con el servicio de internet que se estaría ofertando en su parroquia con la realización del proyecto, piensan que sería beneficioso y les traería más oportunidades sobre todo en el ámbito de la educación y la cultura. Así se llega a la conclusión de que el proyecto socialmente es aceptado, tomando en cuenta el criterio de los moradores de la parroquia Tomebamba.

En relación a la evaluación ambiental, se pudo constatar que efectivamente existirán afecciones sobre algunos de los compartimentos ambientales en todas las fases del proyecto, desde la etapa de construcción hasta la etapa de cierre o abandono; sin embargo, con la ejecución del proyecto también se tendrán impactos positivos, sobre todo en la educación, calidad de vida y en los aspectos culturales. De todos los impactos hallados, el 49% son benéficos y el 51% restante adversos; sin embargo en ningún caso se obtuvo un impacto crítico por la implementación del sistema fotovoltaico, es decir los impactos negativos pertenecen a las categorías leve (4%), moderado (34%) y severo (13%) que son impactos aceptables y que con prácticas de mitigación no tan complejas se puede restaurar el área afectada. De igual manera se llega a la conclusión que ambientalmente el proyecto es beneficioso.

Luego de haber analizado los aspectos principales (técnico, económico, social y ambiental), que indican que un proyecto de inversión sea factible, se concluye con el presente trabajo que la implementación de un sistema de energía renovable (fotovoltaico) en las condiciones detalladas a lo largo del documento realizado es factible y se recomienda su ejecución.

5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones expuestas a continuación tienen que ver con las limitaciones que surgieron durante todo el tiempo de ejecución del presente trabajo, así mismo tienen que ver con los puntos débiles del sistema de energía renovable propuesto:

- Es importante sobredimensionar el sistema fotovoltaico para que el sistema sea robusto y confiable, pero hay que hacerlo de tal manera que el sistema sea representativo técnica y económicamente, es decir no exagerar en este criterio, escoger equipos que tengan una capacidad un poco mayor a lo que requiere el sistema. Sin embargo existen casos en los que se sobredimensiona un sistema en gran medida, sobre todo en cuanto al inversor y controlador de carga, ya que una de las limitaciones de este tipo de sistemas obedecen a que en el mercado es difícil conseguir equipos con similares capacidades a las requeridas en los estudios de este tipo por lo que se consideran equipos de mucha más capacidad al no encontrar el equipo adecuado.
- Los días de autonomía propuestos para el presente estudio fueron tres, sin embargo las condiciones del lugar muestran que en ningún caso hay aporte nulo de energía por lo que pareciera que los días de autonomía propuestos son exagerados; sin embargo, las según recomendaciones revisadas en la bibliografía muestran a muchos autores recomendar días de autonomía similares, en algunos de los casos incluso mayor, ya que un sistema de este tipo debe abastecer de energía todo el tiempo por lo que el sistema debe ser robusto y abastecer hasta en el peor de los casos.
- Los datos utilizados de recursos energéticos, fueron obtenidos mediante fuentes secundarias de información y por lo general son valores extrapolados de mediciones satelitales y de estaciones meteorológicas; por lo que el trabajo no demuestra la realidad de la producción energética en el sitio del proyecto, por tal motivo para la realización de un estudio detallado y más acertado se recomienda la medición in situ de los parámetros y las variables de interés. Sin embargo al tratarse de factores meteorológicos, se deben hacer mediciones de al menos un año calendario, significando un mayor uso de tiempo y dinero.
- Para el estudio económico es importante señalar que se utilizaron costos estimados por el autor del documento en base a la revisión en fichas técnicas,

para el cálculo de la inversión total, por lo que éste valor también es aproximado.

- Durante el análisis de rentabilidad económica con ayuda de los indicadores TIR y VAN, se empleó la tasa de descuento obtenida de los boletines mensuales del Banco Central del Ecuador; aquí es importante trabajar con la tasa más actualizada al momento de ejecutar el proyecto, ya que la misma varía mensualmente.
- En cuanto al contraste realizado del sistema fotovoltaico y la red de suministro público de electricidad se pudo constatar que a partir de cierta distancia (1050m) de extensión de red eléctrica es más conveniente utilizar el sistema fotovoltaico propuesto, sin embargo la carga que alimentará el sistema es relativamente baja (42kW/h) por lo que si surge la necesidad de incrementar dicha carga, el sistema tendría que incrementar su capacidad, significando mayores costos, sobre todo por el número de paneles solares y el banco de baterías.

6 BIBLIOGRAFÍA

Abella, M. (2014). Sistemas Fotovoltaicos. Recuperado a partir de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

Aguilera, J., & Hontoria, L. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Recuperado a partir de https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf

Alomá, E. (2007). Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termoninámica. Recuperado a partir de http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/20195/2/articulo13.pdf

Belmonte, & Franco. (2009). INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN PROCESOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/profile/Silvina_Belmonte/publication/274309237_INTEGRACION_DE_LAS_ENERGIAS_RENOVABLES_EN_PROCESOS_DE_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL/links/551aa34f0cf2f51a6fea8aff/INTEGRACION-DE-LAS-ENERGIAS-RENOVABLES-EN-PROCESOS-DE-ORDENAMIENTO-TERRITORIAL.pdf

Beltrán, C. (2014). *Incorporación de plantas de generación fotovoltaica en redes modernas de suministro eléctrico*. Recuperado a partir de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3734/tesis.pdf?sequence=1

Bester. (2016, octubre 28). ISOLATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM APPLICATIONS. Recuperado 25 de noviembre de 2017, a partir de https://bester.energy/blog/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/

Borja Díaz, M. A. R. (2013). Energía Eólica. Recuperado a partir de https://www.ineel.mx//boletin022013/tenden.pdf

Castells, & Bordas. (2012). *Energía, agua, medioambiente territorialidad y sostenibilidad.pdf*. Recuperado a partir de https://es.scribd.com/document/268468029/FIXED-EnergA-a-agua-medioambiente-territorialidad-y-sostenibilidad

Castillo Meraz, R., Martínez Montejano, R. C., Delgado Aranda, F., & Campos Cantón, I. (2013). SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Recuperado a partir de http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/13/energia.pdf

Chiriboga, B., & Mondragón, N. (2011). *Simulación usando Labview de la radiación incidente sobre superficies bajo diferentes condiciones aplicando un modelo de irradiancia solar basado en transmitancias*. Guayaquil - Ecuador. Recuperado a partir de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20620/1/D-90930.pdf

CONELEC. (2008). Atlas Solar del Ecuador. Recuperado a partir de http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, P.-M., & Sokona, Y. (2011). FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. *Informe Especial del GRUPO Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado a partir de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf

FCFM. (2016). *Explorador solar para autoconsumo*. Recuperado a partir de http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/doc/Manual_Explorador_Solar.pdf

Fernández, J. (2003). Energías Renovables para Todos ENERGÍA DE LA BIOMASA. Recuperado a partir de http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe685c2de5.pdf.upl/E.Biomassa.pdf

Gonzáles G., A. (2011). La Energía. Recuperado a partir de https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/apuntes-energc3ada.pdf

Greenleaf Ambiental. (2010). Identificación de Impactos Ambientales. Recuperado a partir de https://es.slideshare.net/slawkosysak69/evaluacion-de-impactos-ambientales-cri

Honsberg, C., & Bowden, S. (2017). Eficiencia | PVEducation. Recuperado 13 de diciembre de 2017, a partir de http://pveducation.org/pvcdrom/eficiencia

Huacuz Villamar, J. M. (2008). ¿Qué ofrecen las energías renovables para el suministro nacional? Recuperado a partir de https://www.ineel.mx/boletin022008/divulga.pdf

INER. (2014). SOLAR. Recuperado 25 de noviembre de 2017, a partir de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf

Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2011). ENERGIAS RENOVABLES Y CAMBIO CLIMATICO. Recuperado a partir de http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_37-60__B906D47C7DC113438C205802D6EA68B4.pdf

Maldonaro Arias, F. (2006). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. Cuenca - Ecuador.

MathWorks. (s. f.). Software MATLAB y Simulink Student: software matemático para estudiantes de ingeniería y ciencias. Recuperado 2 de abril de 2018, a partir de https://la.mathworks.com/academia/student_version.html

MathWorks. (2013). Simulation and Model-Based Design. Recuperado 21 de noviembre de 2017, a partir de https://es.mathworks.com/products/simulink.html

MEER. (2013). Atlas eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica.

Merino, L. (2012). Energías Renovables para todos. *Energy Management Agency*. Recuperado a partir de http://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Cuaderno1_ER_para_todos.pdf

Meza Badillo, S. (2002). Apuntes de sistemas de telecomunicaciones. Recuperado 25 de noviembre de 2017, a partir de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/opt/sist_telecomunica.pdf

Moreno, R. P. (2012, julio 2). Energías renovables y limpias: solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz,... Recuperado a partir de http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/07/como-elegir-que-energia-renovable.html

Muñoz, F., & Silva, A. (2014). Situación actual y análisis de las energías alternativas en Colombia. *instname: Colegio de Estudio Superiores de Administración (CESA)*. Recuperado a partir de http://repository.cesa.edu.co/handle/10726/1205

Notton, G. (2017). Solar Radiation for Energy Applications. En M. A. Abraham (Ed.), *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (pp. 339-356). Oxford: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10130-7

NREL. (2014a). System Adviros Model, SAM 2014.1.4: General Description. Recuperado a partir de https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61019.pdf

NREL. (2014b). Weather Data | System Advisor Model (SAM). Recuperado 16 de noviembre de 2017, a partir de https://sam.nrel.gov/weather

NREL. (2017). About the National Solar Radiation Database | National Solar Radiation Database (NSRDB). Recuperado 16 de noviembre de 2017, a partir de https://nsrdb.nrel.gov/about

Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Roura, H. (2005). *Metodologia General De Identificacion, Preparacion Y Evaluacion De Proyectos De Inversion Publica*. United Nations Publications.

Pacca, J., & Henrique, K. F. (2004). Dificultades y estrategias para el aprendizaje del concepto de energía. Recuperado a partir de http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21968/21802

Pareja Aparicio, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica - calculo de una instalación aislada*. Recuperado a partir de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=rqYaRcRiJFsC&oi=fnd&pg=PT10&dq=tipos+de+paneles+solares&ots=5IPDxfjaio&sig=83n8yvX04iTOwS9pGjTkLfgd2Qk&redir_esc=y#v=onepage&q=tipos%20de%20paneles%20solares&f=false

Pérez, D. (2009). *ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN, UTILIZANDO AMPOLLETAS DE BAJO CONSUMO Y ALIMENTADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS*. Recuperado a partir de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcip434a/doc/bmfcip434a.pdf

Roldán, J., & Viloria, J. R. (2008). *Fuentes de Energía*. Editorial Paraninfo.

Romero, H., & Toledo, X. (2009). Agua, poder y discursos en el conflicto socio-territorial por la construcción de represas hidroeléctricas en la Patagonia Chilena. Recuperado a partir de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117821/Agua%2c%20poder%20y%20discursos%20en%20el%20conflicto%20socio-territorial%20por%20la%20construccion%20de%20represas%20hidroelectricas%20en%20la%20Patagonia%20C.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. Recuperado a partir de http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/511.pdf

Tomasi, W. (2003). *Sistema de telecomunicaciones electrónicas*. Recuperado a partir de https://hellsingge.files.wordpress.com/2014/08/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicic3b3n.pdf

Valdivia, C. (2012). *Factibilidad técnico económica de la instalación de energía solar fotovoltaica en la comuna de Pucón.* Recuperado a partir de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfciv146f/doc/bmfciv146f.pdf

7 ANEXOS

Anexo 1 Panel solar ATERSA A-250P utilizado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Anexo 2 Especificaciones del Panel solar ATERSA A-250P

Nueva gama Ultra con Tolerancia positiva

Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

	A-240P	A-245P	A-250P
Potencia Nominal (0/+5 W)	240 W	245 W	250 W
Eficiencia del módulo	14,74%	15,04%	15,35%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,21 A	8,33 A	8,45 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	29,21 V	29,37 V	29,53 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,73 A	8,82 A	8,91 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	37,16 V	37,38 V	37,60 V

Parámetros térmicos

Coeficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coeficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coeficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

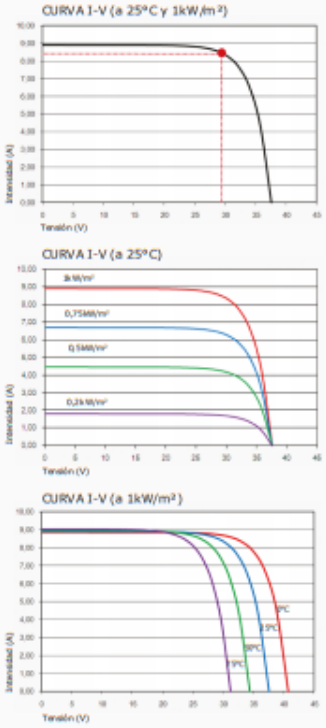
Dimensiones (mm ± 2 mm)	1645x990x40
Peso (kg)	21,5
Área (m²)	1,63
Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	60 (6x10)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 4 mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	Cable Solar 4 mm² 1100 mm
Conectores	MC4 o combinable MC4

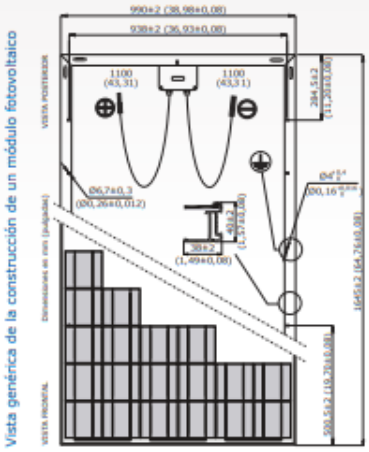
Rango de funcionamiento

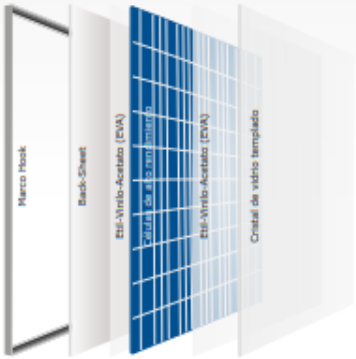
Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m²)
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-250P







- Módulos por caja: **25 uds**
- Peso por palé: **580 kg**
- En un contenedor de 40 pies entran 25 cajas: **625 paneles**
- En un contenedor de 40 pies HC entran 26 cajas: **650 paneles**
- En un contenedor de 20 pies entran 10 cajas: **250 paneles**
- En un camión TAUTLINER entran 30 cajas: **750 paneles**

NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com
Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111 • Italia +39 039 226 24 82 • Alemania +49 151 153 988 44

Revisado: 28/01/13
Ref.: MU-6P (1) 6x10-R
© Atersa SL, 2012

Anexo 3 Especificaciones de la batería NGA6060200HSOFA de la marca Sonnenshein, utilizado en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Sonnenschein

Highest capacity and reliability for limited space.

Specifications

- Two options:
  - A600 for vertical installation
  - A600 WE for horizontal installation
- Extraordinary energy-saving features in addition with robust reliability
- Maintenance-free during the whole service life due to the Sonnenschein dryfit technology
- Nominal capacity 100–3000 Ah C_{10}
- Design life: 15 years for 6/12 V blocs and 18 years for 2 V cells at 20°C (80% remaining capacity)
- Container material (cells) =
- Robust tubular plate technology
- Very low gassing due to internal gas recombination
- Very low self discharge rate
- Proof against deep discharge according to DIN 43 539 T5
- Trouble-free transportation of operational blocs and cells, no restrictions for rail, road, sea and air transportation (IATA, DGR clause A 67)
- Completely recyclable

Type designation acc. to DIN 40744	Part number	Nominal voltage	Nominal capacity C_{10} 1.8 V/C 20°C	Discharge current I_{10}	Length (l)	Width (b)	Height (h_1)	Height (h_2)	Installed length (B)	Pole pairs	Weight	Internal resistance acc. to IEC 896-2	Short circuit current acc. to IEC 896-2	Terminal
		V	Ah	A	max. mm	max. mm	max. mm	max. mm	mm		approx. kg	m Ω	A	
12V 2 OPzV 100	NGA6120100HS0FA	12	91	9.1	273	204	319	350	281	1	43	8.28	1400	F-M8
12V 3 OPzV 150	NGA6120150HS0FA	12	137	13.7	381	204	319	350	389	1	63	5.88	2000	F-M8
6V 4 OPzV 200	NGA6060200HS0FA	6	182	18.2	273	204	319	350	281	1	43	2.31	2550	F-M8
6V 6 OPzV 300	NGA6060300HS0FA	6	274	27.4	381	204	319	350	389	1	62	1.80	3300	F-M8

Anexo 4 Especificaciones del Inversor VPS300, utilizado en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

VPS300 - Data Sheet

Sunshine™ SOLAR
the sun belongs to everyone

SPECIFICATION

CE RoHS

MODEL: VPS300		12V	24V	48V
OUTPUT	Rated Power	300W		
	Maximum Output Power	600W SURGE POWER; 450W for 10sec, 600w for 2sec		
	AC Voltage	200~240VAC (Standard) or 100~120VAC (Special Order)		
	Frequency	50Hz±0.1% (Standard) or 60Hz±0.1% (Special Order)		
	Waveform	Pure sine wave output (THD<3%) at rated input voltage		
	Socket Type	Universal		
	Led Indicator Light	Inverter and Fault		
INPUT	Bat.Voltage	12V	24V	48V
	Voltage Range	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	DC Current	30A	15A	7.5A
	No Load Consumption	<0.4A	<0.2A	<0.1A
	Efficiency	90% (Full Loading) / 95% (1/3 Loading)		
	Battery Types	Open & sealed lead acid battery		
BATTERY INPUT PROTECTION	Fuses	35A*1	20A*1	10A*1
	Low Voltage Alarm	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Low Voltage Shut down	10.2V± 0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Over Voltage Shut down	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
	Reverse Polarity	By fuse open		
OUTPUT PROTECTION	Over Temperature	Shut Off Output Automatically, Temperature >75℃		
	Output Short	Protection type: Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
	Over Load	Protection type: Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
BUZZER ALARM	Low Battery Alarm	Buzzer sound 2 times and Red light blink 2 times every 8 sec		
	Low Battery Shutdown	Buzzer sound 3 times and Red light blink 3 times every 8 sec		
	Over Voltage Shutdown	Buzzer sound 4 times and Red light blink 4 times every 8 sec		
	Over temperature Shutdown	Buzzer sound 5 times and Red light blink 5 times every 8 sec		
	Short Circuit/Overload Shutdown	Red light blink constantly		
ENVIRONMENT	Working Temp.	-10°C ~ +50°C		
	Working Humidity	20% ~ 90% RH Non-Condensing		
	Storage Temp.	-30°C ~ +70°C		
SAFETY	CE EMC	Compliance to EN61000-3-2,3; EN55022; EN55024		
	CE LVD	Compliance to EN62040-1:2008		
	RoHS	Compliance to 2011/65/EU		
PACKING	Inner Box	255*190*90 mm, 1.2kg		
	Carton	540*420*300 mm, 16.5kg		
	Package	12pcs /Carton		
ACCESSORIES	Battery Cable	1x Positive, 1x Negative Battery Cables & 1x Male Cigar Adaptor		
	User Manual	1x English Manual		
	Fuse	1x Replaceable fuse		

Anexo 5 Especificaciones del regulador MPPT 30A 12V/24V, utilizado en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Regulador / regulador solar MPPT 30A 12V / 24V

Caracteristicas

Función MPPT
Carga de modulación por ancho de pulso (PWM) del controlador por microprocesador
Compensación de carga de la batería del sensor
Protección de sobrecarga (restauración automática)
Protección de sobrecarga
Protección contra cortocircuitos (restauración automática)
Protección de descarga inversa
Protección de conexión de polaridad inversa (restauración automática)
Bajo protección de voltaje
Voltaje nominal 12 / 24vdc
1 x salidas de carga
Puerto de comunicación RJ45 para medidor remoto opcional

Presupuesto

Corriente de carga nominal máx .: 30 amperios
Corriente de carga nominal máxima: 30 amperios
Potencia máxima de entrada solar: 390 vatios a 12 V - 780 vatios a 24 voltios
Autoconsumo: 10mA 24V
Voltaje del sistema: 12 DC / 24V DC Auto-set
Temperatura de trabajo: -35 ° a + 55 °
Tipos de batería: Gel, sellado, inundado
Tensión máxima de entrada solar: 120 voltios DC
Compensación de temperatura: -5mV / ° C / celda
Modo de control: 1 x salidas de control de carga
Dimensiones: 242 mm x 169 mm x 91 mm

Anexo 6 Tabla de ingresos perteneciente a los cobros de internet de un nodo de telecomunicaciones de similares características al estudiado en el presente trabajo.

Fecha de alta	Cliente	Cédula	Teléfono fijo	Celular	Cont de datos	Tarifa
5/03/2015	Carlos Marcelo Paucar	105090583		959965722	24804987859	$ 16.80
5/03/2015	Cesar Leonardo Vera	105090526		997737646	10444517196	$ 16.80
1/03/2015	Rosa Emerita Castillo MuÃ±oz	301505994		987338549	17024640165	$ 16.80
6/03/2015	Juana Isabel Tapia	103524591	2125079	980394204	22730781791	$ 25.00
5/03/2015	Luis Hermel Brito Saca	105091557	2203334	994145136	7233039398	$ 25.00
5/03/2015	Leonidas Roman Cajas	102517125	2125078		64768921947	$ 16.80
5/03/2015	Monica Fabiola Arizaga	104224886		969838837	32104072703	$ 25.00
5/03/2015	Maria Encarnacion Pillajo	100835164	2203006		58935077878	$ 16.80
6/03/2015	Nelly Maria Cajas	102015799	2203370		7807499197	$ 16.80
6/03/2015	Maria Magdalena Guachun Arizaga	102001740	2125011	991142874	47556565747	$ 25.00
6/03/2015	Diana Isabel Taza	105126270		983283237	12838414294	$ 25.00
5/03/2015	Jenny Maribel Guaman Brito	302644877		959965429	11922006378	$ 25.00
6/03/2015	Jose Gonzalo Villa	103297222		994567053	25494417862	$ 25.00
6/03/2015	Luis Mauricio Caguana	1501158834		939332067	37291171913	$ 16.80
6/03/2015	Maria Teresa Macas Jarro	100339415	2125050		43127338852	$ 16.80
6/03/2015	Cesar Augusto Bermeo Argudo		2460018	984913185	4538137800	$ 25.00
6/03/2015	Ana del Rocio Guachun	104388459		983649475	40597970274	$ 25.00
6/03/2015	Claudio Rosendo ZuÃ±iga	105090930		968296081	10945735296	$ 25.00
6/03/2015	Natividad Carrion Naula	102066180	3011355	982591796	17431501688	$ 16.80
6/03/2015	Luis Felipe Avila	105091227		989990995	6113838324	$ 25.00

	Perez						
6/03/2015	Manuel Jesus Landi	101628832		988617279	48578208170	$	16.80
6/03/2015	Nancy Leonor Macas	105090997	3014380	969190710	31754480766	$	16.80
6/03/2015	Rosa Margarita Landi Rocano	106919780		994833706	26634970749	$	25.00
18/3/2015	Carlos Baculima Cajas	104777387		994388516	4112631117	$	16.80
6/3/2015	Luis Granda Tenesaca	103310066		981338957	20051191177	$	25.00
6/03/2015	Maria Isabel Arizaga	105304646		993763686	20109452139	$	25.00
6/03/2015	Fabian Idalgo Bueno	104958830		969198863	11520641210	$	16.80
6/03/2015	Wilmer Fabian Guachun	105010011	3014361	959077028	47048715141	$	32.00
6/03/2015	Hilda Beatriz Guallpa	103980765	2251279		94415299183	$	16.80
6/03/2015	Transito Taza Taza	101693927	3014409		33169017872	$	32.00
6/03/2015	Walter German Peralta	103695169		993486336	9190753261	$	25.00
6/03/2015	Rosa Ines Toledo Caceres	102284882	2125088		49550258130	$	25.00
6/03/2015	Manuel Patricio Villa	104693890		969223160	39520750060	$	16.80
6/03/2015	Rosa Etelvina Yanza Guapacasa	104036124		994889809	28299355007	$	25.00
6/03/2015	Ana Luisa Vera Borja	102775152		981367318	39824268119	$	25.00
6/03/2015	Nestor Miguel Torres	105009971		980448854	56841777552	$	16.80
25/2/2015	Fernanda Cristina Cardenas	107630121		993222550	7652257549	$	16.80
6/03/2015	Flor de Maria Pillajo	104698717		979477063	31221186328	$	25.00
6/03/2015	Maria del Carmen Vera Arizaga	102751039		981947312	87401842163	$	32.00
6/03/2015	Wilson Florencio Calderon	105304612		990798837	34427083	$	16.80
25/2/2015	Kevin David Duchimaza Sanchez	107061483		960107755	15643964604	$	25.00
6/03/2015	Jhonatan Esteban Bueno Chungata	106656168	3014363	993866056	16137356101	$	16.80
6/03/2015	Ines Victoria Bermeo Mendez	102695509	3014558		18706250346	$	25.00
6/03/2015	Jessica Gabriela Brito	105893549	2203003	959028327	18045331103	$	25.00
6/03/2015	Rosa Gerardina Paucar	1708929359	9.81E+08	997022265	50063271609	$	25.00
6/03/2015	Rosa Margarita	103093498	2203018	989008885	23087048982	$	25.00

	Peralta						
6/03/2015	Rosa Hermelinda Taza Inga	103741690		979492956	23565719741	$	25.00
6/03/2015	Miguel Angel Cajas	103234886		992085240	19453805180	$	25.00
6/03/2015	Maria Hermelinda Taza	102590346	2125035		33600367815	$	25.00
6/03/2015	Luz Maria Riera Riera	106918840		979691304	19975525720	$	16.80
6/03/2015	Brauz Idalgo Chavez	301941993		990454503	18812597371	$	25.00
6/03/2015	Rosa Margarita Guachun Borja	301896544	3014360	988524639	54993249971	$	32.00
5/03/2015	Freddy Ernesto Carrion Villa	105921365		990317831	62727740356	$	25.00
6/03/2015	Gustavo Anibal Noboa	600764088		984941932	718987769	$	25.00
6/03/2015	Doraliza Eugenia Tualongo Robles	302193784		990171563	48793233331	$	16.80
6/03/2015	Maria Ana Vera Vera	104228226		993513622	78724615801	$	25.00
6/03/2015	Juan Pablo Perez Duchimaza	106695232		968958595	42899977944	$	25.00
6/03/2015	Marianita de Jesus Condo Buestan	102199957		981492446	58561198226	$	25.00
5/03/2015	Walter Hipolito Juca Landy	105010003		968143373	10235841859	$	16.80
6/03/2015	Carolina de los Angeles Castillo	105235550	3011307	987058333	23594027576	$	25.00
11/5/2015	Silvia Patricia Paucar Cajas	104072427	3014385	993284785	13007725990	$	16.80
2/06/2015	Luz Aurora Villa Carrion	101296713	3014417	985571465	55183868463	$	25.00
5/03/2015	Miguel Gonzalo Toledo Pesantez	101353522		987401419	44960060825	$	16.80
8/03/2015	Maria Rocio Toledo	30199797	2125021		68864083616	$	25.00
17/1/2015	Maria Diocelina Inga Taza	103627436		990484870	44644207013	$	32.00
27/7/2015	Ronald Euclides Calle Alvarez	104523477		985183916	56766310260	$	25.00
6/03/2015	Carlos Felipe Marquina Rea	102660602	2251-430	999365306	17872270940	$	25.00
7/03/2015	Byron Fabian Yanzaguano Cajilima	105891923	2251411	967278569	69020069863	$	25.00
6/03/2015	Juan Manuel Lazo Guallpa	107227718	2509282		51488367149	$	25.00
6/03/2015	Manuel Antonio Rocano PiÃ±a	101313344		994749466	7359654148	$	25.00
11/3/2015	Blanca Noemi Caceres Andrade	103880175		984548309	17976607757	$	25.00
15/9/2016	Milton Rene Chicay	104464219		990639740	13614627122	$	16.80

	Barrionuevo						
16/10/2016	Maria Elena Acevedo Saca	103549085		990432977	52199426488	$	16.80
14/11/2016	Ilda Beatriz Inga Carrion	106118847		993351964	4980186095	$	16.80
9/05/2016	Hugo Marcelo Mejia Taza	103770233		989871633	3626236587	$	16.80
14/3/2016	Darwin Gonzalo Encarnacion Soto	703947960		997832614	36577603316	$	16.80
6/09/2016	Carlos Enrique Quizhpe Riera	107232480		989709261	18488089399	$	16.80
9/09/2016	Luis Claudio Once Landy	100971688	3014533	982602707	17976607757	$	16.80
24/9/2016	Senen Medardo PeÃ±aranda (hijo)	102755576		980017110	9984803254	$	25.00
5/10/2016	Rosa Maruja Sacta LlivigaÃ±ay	104419106	2203000	993618754	55279838690	$	25.00
15/10/2016	Manuel Jesus Benitez Chuquiralao	104078761	2251091	985493170	54743882	$	16.80
15/10/2016	Maria Florencia Aguilar Villalta	100433507	9.81E+08		3934586750	$	16.80
14/2/2017	Maria Carmen Riera Gomez	101260594	3011286		25438428372	$	25.00
21/8/2017	Edgar Geovanny Juca Carrion	150384865		989994713	17716990722	$	25.00
1/09/2017	Daniel Salvador Inga Rocano	104834163		980542872	18476103467	$	16.80
4/09/2017	Ana Lucia Inga Rocano	105125421		959042373	15113977469	$	16.80
21/7/2017	Maria Carmelina Pesantez Chungata	103500138		958717035	3747733907	$	16.80
18/9/2017	Maria de Lourdes Arizaga Calle	104170782		939905852	37369993125	$	25.00
21/9/2017	Willan Armando Castillo MuÃ±oz	105349526		959905497	24771762246	$	16.80
30/10/2017	Luis Alberto Once Pillajo	101055481		994172051	10428035156	$	32.00
28/8/2017	Jonathan Isaias Ortiz Bueno	105010060		998464450	44644207013	$	25.00
21/9/2017	Angel David Peralta Viri	1718633348		992457396	68864083616	$	32.00
29/8/2017	Laura Fernanda Chuchuca Guillermo	105709729		992959436	55183868463	$	32.00
5/06/2017	Jhon Kennedy Caceres Andrade	102841798	3014392	981650786	17872270940	$	25.00
22/8/2017	Mercedes Carolina Idrovo Caceres	105091615	2125031	985563681	9984803254	$	25.00

Anexo 7 Tabla de costos detallado del estudio eléctrico de los materiales para la instalación de red de media tensión.

MATERIALES						
INSTALACIÓN DE RED DE MEDIA TENSIÓN (22kV)						
DETALLE	**U.**	**CANT.**	**P.UNIT**		**SUBT.**	
CONDUCTOR RED DE M.T.						
conductor ACSR # 2	m	74	$	0.42	$	31.08
ACOMETIDA						
Conductor multiplex. Al 600v triplex 3x6 AWG	m	14	$	0.65	$	9.10
POSTES						
Poste hormigón armado de 12m	u	1	$	235.00	$	235.00
ESTRUCTURA EN POSTE						
abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x4x140mm (1-1/2x5/32x5-1/2")	u	2	$	4.10	$	8.20
aislador de suspensión de caucho siliconado, 25 kV, ANSI DS-28	u	2	$	13.18	$	26.36
horquilla de acero galvanizado, para anclaje 16 x 75 mm (5/8 x 3")	u	2	$	2.43	$	4.86
grapa horquilla - guardacabo, de acero galvanizado	u	2	$	2.88	$	5.76
retención preformada para cable de aluminio N.- 2	u	4	$	1.40	$	5.60
tuerca ojo ovalado de acero galvanizado, perno de 16mm (5/8")	u	2	$	1.94	$	3.88
abrazadera de acero galvanizado, pletina simple 3 pernos, 38x4x160mm (1-1/2x5/32x6-1/2")	u	2	$	4.51	$	9.02
bastidor rack de acero galvanizado 1 vía 38x4mm (1-1/2"x11/64")	u	2	$	3.00	$	6.00
aislador tipo rollo de porcelana 0,25kV ANSI 53-2	u	2	$	0.43	$	0.86
PUESTA A TIERRA						
varilla coperwelld 5/8" x 1800mm alta camada	u	1	$	8.25	$	8.25
perno hendido de ranuras paralelas 250MCM	u	1	$	7.58	$	7.58
perno hendido de ranuras paralelas 2-1/0	u	3	$	3.99	$	11.97
cable desnudo de cobre suave N.-2 AWG	m	4	$	2.89	$	11.56
cable desnudo coperwelld (1/0 AWG)	m	11	$	4.88	$	53.68
SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN						
grapa de aleación de Al, derivación para línea en caliente	u	1	$	7.02	$	7.02
seccionador portafusible, 1P , abierto, 27kV	u	1	$	72.24	$	72.24

cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75x75x6x1200mm	u	1	$	19.98	$	19.98
Perno U de acero galvanizado 2 tuercas , 2 arandelas planas, 2 de presión, de 16x152mm (5/8x6"), ancho dentro de la U	u	1	$	3.40	$	3.40
pie de amigo acero galvanizado perfil "L" 38x38x6x700mm (1-1/2x1-1/2x1/4x27-9/16")	u	1	$	6.75	$	6.75
abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x4x160mm (1-1/2x5/32x6-1/2")	u	1	$	4.51	$	4.51
perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión 16x38mm (5/8x1-1/2")		1	$	0.68	$	0.68
ESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
transformador monofásico autoprotegido 10kVA	u	1	$	926.00	$	926.00
revisión de transformador en laboratorio (sin prueba de aceite)	u	1	$	18.02	$	18.02
abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x6x160mm (1-1/2x1/4x6-1/2")	u	2	$	4.51	$	9.02
H. TABLERO DE MEDICIÓN.						
tablero para 2 medidores 2F3C	**u**	**1**	**$**	**64.60**	**$**	**64.60**
subtotal:					**$**	**1,570.98**
iva:					$	188.52
utilidad:					$	392.75
costos indirectos:					$	157.10
TOTAL:					**$**	**2,309.34**

Anexo 8 Tabla de costos detallado del estudio eléctrico de la mano de obra para la instalación de red de media tensión.

MATERIALES						
EXTENSIÓN DE RED DE MEDIA TENSIÓN (22kV)						
DETALLE	**U.**	**CANT.**	**P.UNIT**		**SUBT.**	
A.CONDUCTOR RED DE M.T.						
conductor ACSR # 2	m	74	$	0.42	$	31.08
ACOMETIDA						
Conductor multiplex. Al 600v triplex 3x6 AWG	m	14	$	0.65	$	9.10
POSTES						
Poste hormigón armado de 12m	u	1	$	235.00	$	235.00
ESTRUCTURA EN POSTE						
abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x4x140mm (1-1/2x5/32x5-1/2")	u	2	$	4.10	$	8.20
aislador de suspensión de caucho siliconado, 25 kV, ANSI DS-28	u	2	$	13.18	$	26.36
horquilla de acero galvanizado, para anclaje 16 x 75 mm (5/8 x 3")	u	2	$	2.43	$	4.86
grapa horquilla - guardacabo, de acero galvanizado	u	2	$	2.88	$	5.76

retención preformada para cable de aluminio N.- 2	u	4	$	1.40	$	5.60
tuerca ojo ovalado de acero galvanizado, perno de 16mm (5/8")	u	2	$	1.94	$	3.88
abrazadera de acero galvanizado, pletina simple 3 pernos, 38x4x160mm (1-1/2x5/32x6-1/2")	u	2	$	4.51	$	9.02
bastidor rack de acero galvanizado 1 vía 38x4mm (1-1/2"x11/64")	u	2	$	3.00	$	6.00
aislador tipo rollo de porcelana 0,25kV ANSI 53-2	u	2	$	0.43	$	0.86
cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75x75x6x1200mm	u	1	$	19.98	$	19.98
Perno U de acero galvanizado 2 tuercas , 2 arandelas planas, 2 de presión, de 16x152mm (5/8x6"), ancho dentro de la U	u	1	$	3.40	$	3.40
abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x4x160mm (1-1/2x5/32x6-1/2")	u	1	$	4.51	$	4.51
				subtotal:	**$**	**373.61**
				iva:	**$**	**44.83**
				utilidad:	**$**	**93.40**
				costos indirectos:	**$**	**37.36**
				TOTAL:	**$**	**549.21**